Research Fund for Coal & Steel

Research & Innovation
Research Fund for Coal and Steel

LVS^3
Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures

Linee Guida

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

CRM GROUP

ArcelorMittal

cticm
Construire en métal, un art, notre métier

Linee Guida

Sebbene sia stato compiuto ogni sforzo per garantire la completezza e la qualità del presente volume nonché l'accuratezza delle informazioni ivi contenute, si declina ogni responsabilità per eventuali danni diretti o indiretti causati a cose e/o a persone derivanti dell'utilizzo della pubblicazione medesima e delle informazione in essa contenute. La riproduzione a fini non commerciali è consentita previa citazione della fonte e comunicazione al coordinatore del progetto. La pubblica distribuzione del presente volume attraverso siti internet diversi da quelli ufficiali è subordinata all'autorizzazione dei partner del progetto.
Le richieste vanno indirizzate al coordinatore del progetto: ARCELORMITTAL BELVAL & DIFFERANGE S.A., Rue de Luxembourg 66, Esch-sur-Alzette, Luxembourg.
Il presente documento è parte integrante del progetto (RFS2-CT-2013-00016) LVS3 - Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures, cofinanziato al fondo Research Fund for Coal and Steel (RFCS) della Comunità Europea

Versione italiana del testo a cura di: Raffaele Landolfo, Lucrezia Cascini, Caterina Antonia Dattilo, Elvira Romano

Stampato in Italia
2014

INDICE

1 INTRODUZIONE ED OBIETTIVO 5

2 CODICE ED AMBIENTE INFORMATICO 6

3 IMPOSTAZIONI GENERALI DEL PROGRAMMA AMECO3 7
3.1 Introduzione 7
3.2 Impostazioni 9
3.3 Lingue 9
3.4 Unità di misura 9

4 DESCRIZIONE TECNICA 10
4.1 Definizione di un progetto 10
4.1.1 Definizione della struttura di un edificio e dati generali 10
4.1.1.1 Parametri generali 10
4.1.1.2 Solai 12
4.1.1.3 Struttura 13
4.1.1.4 Ipotesi per il trasporto 14
4.1.1.5 Fase di fine vita 15
4.1.2 Definizione di un ponte 16
4.1.2.1 Struttura portante 16
4.1.2.2 Ipotesi per il trasporto 17
4.1.2.3 Fase di fine vita 18
4.1.3 Involucro dell'edificio 19
4.1.3.1 Geometria della facciata 19
4.1.3.2 Proprietà della facciata 19
4.1.3.3 Piano terra 20
4.1.3.4 Parametri aggiuntivi 22
4.1.3.5 Copertura 23
4.1.4 Occupazione 23
4.1.5 Impianti dell'edificio 24
4.1.5.1 Impianto di riscaldamento 24
4.1.5.2 Impianto di raffrescamento 25
4.1.5.3 Impianto di ventilazione 25
4.1.5.4 Impianto per la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS) 26
4.2 Costanti e parametri specifici 26
4.3 Calcolo degli impatti ambientali di una struttura 28
4.3.1 Introduzione 30
4.3.1.1 Parametri che descrivono gli impatti ambientali 29

4.3.1.2 Parametri che descrivono l'uso delle risorse, materiali e fossili secondari e uso dell'acqua 31
4.3.1.3 Altre indicatori ambientali che descrivono le categorie di rifiuti 32
4.3.1.4 Altre indicatori ambientali che descrivono i flussi di uscita 33
4.3.2 Impatto ambientale di un edificio 33
4.3.2.1 Modulo A 33
4.3.2.2 Modulo B: fase d'uso 34
4.3.2.3 Modulo C 51
4.3.2.4 Modulo D 52

5 RISULTATI OTTENUTI DAL SOFTWARE 55
5.1 Dati del risultato dettagliato della fase d'uso 55
5.1.1 Fabbisogno energetico per il riscaldamento ambiente 55
5.1.2 Fabbisogno energetico per raffrescamento ambiente 56
5.1.3 Fabbisogno energetico per la produzione di ACS 57
5.1.4 Quantità totali di energia 57
5.1.5 Apporti termici solari 58
5.2 Dati dei risultati globali della fase d'uso 58
Tabella 9: coefficienti degli impatti in relazione alla fase d'uso 60

6 GUIDA D'USO DEL SOFTWARE AMECO3 61
6.1 Progetto 61
6.2 Edificio 62
6.2.1 Parametri generali 62
6.2.2 Posizione 64
6.2.3 Involucro 67
6.2.4 Piano terra 71
6.2.5 Copertura 71
6.2.6 Occupazione 72
6.2.7 Impianti 73
6.2.8 Struttura 75
6.2.9 Solai 75
6.2.10 Trasporto 77
6.2.11 Risultati 79
6.2.11.1 Grafici a barre 79
6.2.11.2 Tabella 82
6.2.11.3 Grafico radiale che mostra i risultati per l'indicatore selezionato 83
6.2.11.4 Foglio di calcolo 83

7 CASI STUDIO 86
7.1 Edificio per uffici 86
7.1.1 Introduzione……86
7.1.2 Descrizione dell'edificio……..…86
7.1.3 Analisi ambientale con il software AMECO 3……90
7.1.3.1 Dati di ingresso nel software AMECO3 90
7.1.3.2 Risultati del calcolo con AMECO3 94
7.2 Edificio residenziale - CasaBuna in Romania 98
7.2.1 Descrizione dell'edificio……98
7.2.2 Dati in ingresso nel software AMECO3……100
7.2.2.1 Dati generali in ingresso relativi all'edificio residenziale in AMECO3 100
7.2.2.2 Dati in ingersso relativi alla geoemtria (Moduli A-C-D) 101
7.2.2.3 Dati in ingresso per i componenti dell'edificio (Moduli A-B-C-D) 101
7.2.2.4 Dati in ingresso relativi alla fase d'uso dell'edificio (Modulo B) 102
7.2.2.5 Dati generali relativi alla struttura portante dell'edificio (Moduli A-C-D) 103
7.2.2.6 Dati per il trasposto degli elementi (Modulo A) 104
7.2.3 Risultati del calcolo condotto con AMECO3……105
7.3 Capannone industriale 108
7.3.1 Scopo dello studio……108
7.3.2 Descrizione dell'edificio……..…108
7.3.3 Sistema strutturale……..108
7.3.4 Componenti dell'involucro edilizio…….……..110
7.3.5 Impianti HVAC……110
7.3.6 Ipotesi principali…….…108
7.3.7 Dati in ingresso nel software AMECO3……..111
7.3.7.1 Dati generali in ingresso relativi all'edificio industriale in AMECO3 .. 111
7.3.7.2 Dati in ingresso relativi alla geometria (Moduli A-C-D) 111
7.3.7.3 Dati in ingresso relativi ai vari componenti dell'edificio (Moduli A-B-C-D) ……....112
7.3.7.4 Dati in ingresso relativi alla fase d'uso dell'edificio (Modulo B) 113
7.3.7.5 Dati generali in relazione alla struttura dell'edificio (Moduli A - C - D) ……...114
7.3.7.6 Dati per il trasporto degli elementi (Modulo A) 115
7.3.8 Risultati del calcolo condotto con AMECO3……..115
7.3.8.1 Sistema strutturale in acciaio S235 115
7.3.8.2 Sistema strutturale in acciaio S460 119
7.3.8.3 Sistema strutturale in cemento armato 121
7.3.8.4 Confronto degli impatti GWP delle sluzioni strutturali in acciaio S235 e S460 124

7.3.8.5 Confronto degli impatti GWP tra il sistema strutturale in acciaio S460 vs il sistema strutturale in cemento armato.....125

7.3.9 Analisi dei benefici ambientali dovuti all'aumento dello spessore dell'isolante…….. ……126

8 BIBLIOGRAFIA.....128

ALLEGATI 137

1 INTRODUZIONE ED OBIETTIVO

Il presente volume rappresenta uno dei prodotti finali del progetto di ricerca europeo **LVS^3: Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures** (RFS2-CT-2013-00016), volto alla divulgazione dei principi su cui si basa la progettazione strutturale delle costruzioni ispirata ai principi dello sviluppo sostenibile. Negli ultimi anni i progettisti hanno acquisito la consapevolezza che bisogna concepire strutture secondo un approccio multi-prestazionale al fine di soddisfare non solo i requisiti strutturali, ma anche quelli di sostenibilità nell'intero ciclo di vita. In particolare gli impatti negativi che il settore delle costruzioni produce soprattutto sull'ambiente naturale ha spinto la ricerca scientifica a perseguire numerosi progetti di ricerca e a sviluppare strumenti che permettano di valutare la prestazione ambientale degli edifici.
Nell' ambito del progetto LVS3, al fine di evidenziare i vantaggi dell'uso dell'acciaio nella progettazione strutturale sostenibile, ArcelorMittal in collaborazione con Citim ha perfezionato lo sviluppo del software AMECO: uno strumento di calcolo LCA semplificato per la valutazione ambientale di edifici in acciaio e misti. La promozione di questo software è uno degli obiettivi principali del progetto, ed il presente documento ha lo scopo di guidare l'utente all'utilizzo consapevole del programma, fornendo tutte le informazioni necessarie per condurre un'analisi ambientale valida e completa.

Il volume *"Linee Guida"* si compone di tre sezioni principali. In particolare la prima parte del volume (Capp. 2-5) descrive le specifiche tecniche del software AMECO nonché il procedimento di calcolo adottato per la valutazione degli impatti ambientali delle costruzioni; la seconda parte del volume (Capitolo 6) fornisce una guida all'utente sull'utilizzo del software di calcolo. Infine nella terza parte del testo (Capitolo 7) vengono introdotti tre casi studio.
Il software utilizza due approcci metodologici complementari, sviluppati e validati nell'ambito di precedente progetto europeo RFCS, il progetto SB-Steel: *Sustainability of Steel Buildings (SB_Steel, 2014)*:

(i) un primo approccio basato sul concetto di macro-componenti che affronta la valutazione degli impatti ambientali legati al ciclo di vita, con riferimento ai diversi pacchetti tecnologici del sistema 'edificio'

(ii) un secondo approccio, da impiegare a scala dell'intero edificio, basato sulla quantificazione del fabbisogno energetico durante la fase d'uso.

Per un maggiore approfondimento sulle due metodologie introdotte, si rimanda al volume "Documentazione di base".

2 CODICE ED AMBIENTE INFORMATICO

Il software AMECO è un programma di calcolo speditivo rispetto agli strumenti di calcolo LCA rigorosi che consente la valutazione degli impatti ambientali delle strutture realizzate in acciaio e in cemento armato attraverso due approcci semplificati descritti nel dettaglio nelle successive sezioni. In particolare la versione AMECO3 rappresenta un'integrazione della precedente versione 2, con l'intenzione di considerare anche la fase d'uso degli edifici.

AMECO3 usa il linguaggio informatico VB2008 che si basa sulla tecnologia Microsoft .NET, perciò risulta evidente che questa applicazione deve essere impostata sul computer dell'utente per poter procedere all'uso del software. La Microsoft .NET Framework è inclusa automaticamente nei nuovi sistemi operativi (OS) Microsoft Vista e Seven, ma non in quelli precedenti per i quali risulta necessario procedere alla loro installazione prima di utilizzare il software AMECO 3.

Lo sviluppo si basa sull'applicazione .NET Framework versione 2.0, che può essere installata sui seguenti sistemi operativi: Windows 2000 Service Pack 3; Windows 98; Windows 98 Second Edition; Windows ME; Windows Server 2003, Windows XP Service Pack 2. In linea con queste considerazioni, è opportuno notare che AMECO 3 risulterà compatibile esclusivamente con le configurazioni appena citate.

3 IMPOSTAZIONI GENERALI DEL PROGRAMMA AMECO3

3.1 Introduzione

Il software AMECO 3 permette di effettuare la valutazione ambientale sia di edifici che di ponti realizzati in acciaio e cemento armato, considerando 24 tipi di indicatori raggruppati in quattro macrogruppi (**Tabella 1**):

1. Indicatori che descrivono gli impatti ambientali (GWP, ODP, AP, EP, POPCP, ADP-elements, ADP-fossil fuels).
2. Indicatori relativi all'uso delle risorse, ai materiali secondari e combustibili, all'uso dell'acqua (Uso di energia primaria rinnovabile, escluso le risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime; uso di risorse di energia rinnovabile usate come materie prime; uso complessivo di energia primaria rinnovabile - energia primaria e risorse di energia primaria usate come materie prime; uso di energia primaria non rinnovabile escludendo le risorse di energia primaria non rinnovabile usate come materie prime; uso di risorse di energia non rinnovabile usate come materie prime; uso complessivo di energia primaria non rinnovabile - energia primaria e risorse energetiche primarie usate come materie prime; uso di materiale secondario; uso di fossili secondari rinnovabili; uso di fossili secondari non rinnovabili; uso di acqua da rete idrica).
3. Ulteriori indicatori ambientali che descrivono le categorie dei rifiuti (rifiuti pericolosi smaltiti, rifiuti non pericolosi smaltiti, rifiuti radioattivi smaltiti).
4. Ulteriori indicatori ambientali che descrivono i flussi in uscita (componenti per il riuso, materiali per il riciclo, materiali per il recupero energetico, energia esportata).

Inoltre è opportuno sottolineare che ogni indicatore verrà valutato per ciascuno dei 4 moduli in cui è stato schematizzato il ciclo di vita (**Modulo A -** Fase di produzione e processo di costruzione; **Modulo B -** Fase d'uso; **Modulo C -** Fase di fine vita; **Modulo D -** Benefici e carichi al di fuori dei confini del sistema).

Indice	Dati disponibili	Sigla	Denominazione	Unità di misura
Impatti ambientali				
1	Si	GWP	Potenziale di Riscaldamento Globale	tCO_2eq
2	Si	ODP	Potenziale di Riduzione dell'Ozono	t_{CFCeq}
3	Si	AP	Potenziale di Acidificazione	t_{SO2eq}
4	Si	EP	Potenziale di Eutrofizzazione	t_{PO4eq}
5	Si	POCP	Potenziale di Creazione di Ozono Fotochimico	$t_{Etheneeq}$
6	Si	ADP-e	Potenziale di Degrado Abiotico - elementi	t_{Sbeq}
7	Si	ADP-ff	Potenziale di Degrado Abiotico - fossili	GJ NCV

Uso delle risorse, materiali e fossili secondari				
8	No	RPE	Uso di energia primaria rinnovabile che esclude le risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime	GJ NCV
9	No	RER	Uso di risorse di energia rinnovabile usate come materie prime	GJ NCV
10	Si	RPE-totale	Uso totale di energia primaria rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria usate come materie prime)	GJ NCV
11	No	Non-RPE	Uso di energia primaria non rinnovabile escludendo risorse di enrgia primaria non rinnovabile usate come materie prime	GJ NCV
12	No	Non-RER	Uso di risorse di energia non rinnovabile usate come materie prime	GJ NCV
13	Si	Non-RPE-totale	Uso totale di energia primaria non rinnovabile (energia primaria e risorse di enrgia primaria usate come materie prime)	GJ NCV
14	No	SM	Uso di materiale secondario	t
15	No	RSF	Uso di fossili secondari rinnovabili	GJ NCV
16	No	Non-RSF	Uso di fossili secondari non rinovabili	GJ NCV
17	Si	NFW	Uso di acqua net fresh	10^3m^3
Altri indicatori ambientali che descrivono le categorie di rifiuti				
18	Si	HWD	Rifiuti pericolosi smaltiti	t
19	Si	Non-HWD	Rifiuti non pericolosi smaltiti	t
20	Si	RWD	Rifiuti radioattivi smaltiti	t
Altri indicatori ambientali che descrivono i flussi in uscita				
21	No	CR	Componenti per il riuso	t
22	No	MR	Materiali per il riciclo	t
23	No	MER	Materiali per il recupero energetico	t
24	No	EE	Energia esportata	t

Tabella 1: Impatti ambientali

La principale impostazione aggiuntiva di AMECO 3 rispetto alla versione precedente è l'introduzione della fase d'uso nel calcolo degli impatti ambientali che permette di stimare i fabbisogni energetici per diverse tipologie di impianto di un edificio, quali riscaldamento, raffrescamento etc.. Tale calcolo si basa sia su numerose norme internazionali quali ISO-13370, ISO-13789 e ISO-13790, che su standard europei (EN 15316).

AMECO ha la possibilità di considerare sia edifici che ponti, tuttavia l'integrazione relativa alla fase d'uso è disponibile solo per gli edifici.

3.2 Installazione

AMECO sarà rilasciato con un pacchetto di installazione generato dall'applicazione gratuita "install creator" che include:

- il file .exe
- alcune librerie a collegamento dinamico necessarie (file .dll)
- i database
- i file di assistenza
- i file relativi alle lingue
- le icone e le altre figure necessarie

3.3 Lingue

AMECO è un'applicazione multi-lingua: tutti i testi mostrati nell'interfaccia grafica sono letti in file di lingua separati, ognuno associato ad una lingua. Il testo nei file di lingua è raggruppato in blocchi e identificato da parole-chiave.

3.4 Unità di misura

In relazione ai parametri da definire, saranno prese in considerazione le seguenti unità di misura:

- Peso: ton
- Dimensioni: m
- Spessore del solaio: mm
- Distanze: km
- Densità: kg/m^3
- Area dei piani m^2
- Fabbisogno energetico kWh

Le unità di misura usate per gli impatti ambientali sono descritte in **Tabella 9** (vedi § 5.2 Dati di output globali della fase d'uso).

4 DESCRIZIONE TECNICA

4.1 Definizione di un progetto

Al fine di calcolare gli impatti ambientali prodotti da un edificio è necessario conoscere non solo numerosi parametri che descrivono la struttura, ma anche informazioni aggiuntive relative al modo in cui gli elementi vengono trasportati al sito di costruzione e infine alcune indicatori sull'utilizzo degli elementi considerati a seguito della demolizione della struttura.

Il calcolo degli impatti prodotti durante la fase d'uso del ciclo di vita di un edificio richiede l'acquisizione di molteplici dati che permettano di definire le caratteristiche principali della costruzione da analizzare. Questi dati, sono brevemente descritti nei paragrafi successivi, prima di riportare in dettaglio le relative equazioni. Nel seguito, la lettera ***m*** indica il mese, il numero *m* varia da 1 a 12 e l'abbreviazione ***dir*** indica l'orientamento tra Nord, Ovest, Est e Sud.

4.1.1 Definizione della struttura di un edificio e dati generali

4.1.1.1 Parametri generali

La definizione generale di un edificio è data dai seguenti parametri definiti dall'utente:

- Lunghezza ℓ_b
- Larghezza w_b
- Numero di piani $n_{b,fl}$
- Superficie dei piani misurata $a_{b,fl,custom}$

Il valore predefinito relativo alla superficie dei piani si calcola attraverso la seguente relazione:

$$a_{b,fl,default} = n_{b,fl}\ \ell_b\ w_b \qquad \text{(Eq 1)}$$

In accordo alle opzioni di calcolo scelte dall'utente, la superficie dei piani usata nei calcoli è espressa attraverso la seguente relazione:

$a_{b,fl} = a_{b,fl,custom}$ se la superficie è definita dall'utente (Eq 2)

$a_{b,fl} = a_{b,fl,default}$ nei casi diversi dal precedente

La posizione dell'edificio deve essere scelta tra una delle città incluse nel relativo database, per ognuna delle quali, sono forniti i seguenti parametri:

Nazione

$\theta_{ext}(m)$ temperatura esterna relativa al mese *m*

$I_{sol,k}(m,dir)$ radiazione solare incidente secondo l'orientamento *dir* relativa al mese *m* [W/m²]

$I_{sol,k,roof}(m)$ radiazione solare incidente della copertura relativa al mese *m* [W/m²]

$f_{H,shut}(m)$	rapporto del giorno rispetto alla notte relativo al mese *m* considerando la modalità riscaldamento (considerare un isolamento extra fornito da dispositivi di ombreggiamento) [-]
$f_{sh,with}(m,dir)$	frazione di tempo in cui è utilizzata la schermatura solare [-]
Latitudine	latitudine della città
Clima	può essere sub-polare, intermedio o tropicale
Classificazione clima (Geiger)	può essere Csa, Csb, Cfb, Dfb, Dfc

Nota la *latitudine della città*, è possibile ottenere il seguente parametro:

$\Delta\theta_{er}$	differenza media di temperatura tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura del cielo in funzione del *clima* (**Tabella 12** nell'**Allegato 2**) [°C]

L'allegato 3 fornisce le tabelle di questi valori per le città di Coimbra, Tampere e Timisoara.

Il software permette di considerare varie destinazioni d'uso per l'edificio oggetto di analisi quali Edificio Residenziale (RB), Edificio per Uffici (OB), Edificio Commerciale (CB) ed Edificio Industriale (IB). Questa scelta ha un'incidenza considerevole su numerosi valori predefiniti, elencati nei paragrafi successivi.

L'utente può considerare edifici di sola forma rettangolare (Figura 1) i cui dati associati sono riportati di seguito:

ℓ_b	lunghezza facciate nord - sud [m]
w_b	lunghezza facciate est - ovest [m]
$n_{b,fl}$	numero dei piani intermedi [-]
h_{floor}	altezza d'interpiano (uguale per tutti i piani) [m] considerando che $h_{floor\ ceiling} < h_{floor}$
$a_{b,fl,custom}$	superficie dei piani misurata [m²]

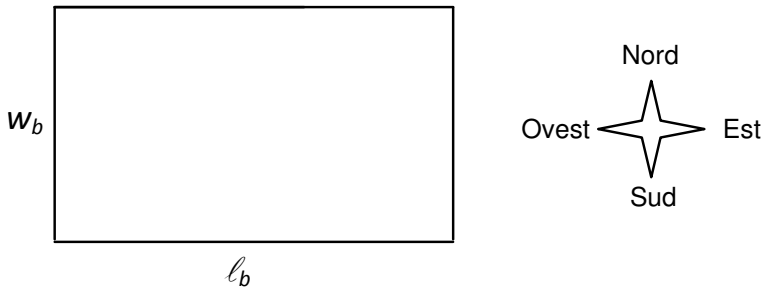


Figura 1: Pianta dell'edificio

La superficie totale dell'edificio si calcola attraverso la relazione seguente:

$$a_{b,fl,default} = (n_{b,fl} + 1).\ell_b .w_b$$

La superficie dei piani utilizzata nei calcoli per il modulo A, C e D è l'area dei piani intermedi, computata automaticamente in accordo alla seguente relazione:

$a_{b,fl,interm,,default} = n_{b,fl} \cdot \ell_b \cdot w_b$

Ulteriori superfici sono considerate nel software, e in particolare:

$A_{conditionedarea}$	superficie totale delle zone climatizzate [m²]
A_{area1}	superficie delle zone con climatizzazione primaria (apporto termico interno più alto) [m²]
$A_{area\,2}$	superficie delle altre zone climatizzate (apporto termico interno più basso) [m²]

Questi parametri soddisfano la seguente relazione:

$$A_{conditionedarea} = A_{area1} + A_{area2}$$

Il parametro $A_{conditionedarea}$ risulta uguale alla superficie totale dell'edificio $a_{b,fl,default}$, invece le variabili A_{area1} e A_{area2} sono calcolate come una percentuale di $A_{conditionedarea}$ secondo la **Tabella 10** riportata nell'**Allegato 2** (Area 1 per le zone di climatizzazione primaria, e Area 2 per le altre zone climatizzate). In particolare i valori di queste tre superfici non sono mostrati nell'interfaccia del software.

4.1.1.2 Solai

Componenti in acciaio:

Gli elementi in acciaio utilizzati per i solai dell'edificio sono definiti dai seguenti parametri:

- Tipologia di solaio, da scegliere tra il seguente elenco:
  - Solaio piano (non si considera la lamiera grecata)
  - Solaio misto
  - Solaio con cassaforme a perdere
  - Prefabbricato
  - Solaio a secco

Le lamiere in acciaio sono scelte nello stesso database presente in AMECO [1].
Il peso totale della lamiera in acciaio si ottiene secondo la seguente relazione:

$$m_{tss} = m_{ssu}\, a_{b,fl} \qquad \text{(Eq 3)}$$

con m_{ssu} peso della lamiera (per unità di area) come riportato nel database;
$a_{b,fl}$ superficie dei piani (cf. 4.1.1.1)

Componenti in cemento armato:

In riferimento agli elementi in c.a. saranno utilizzati i seguenti parametri:

- Tipo di calcestruzzo, scelto tra le possibili soluzioni elencate di seguito:

- Gettato in opera
- Prefabbricato

- Classe del calcestruzzo, scelta tra quelle riportate nel seguente elenco:
  - C20/25
  - C30/37
- Altezza totale del solaio t_{tfl}
- Armatura in acciaio m_{conrs}

Il peso totale del calcestruzzo m_{consl} è calcolato utilizzando la relazione seguente:

$$m_{consl} = a_{b,fl}\, \rho_{consl}\, (t_{tfl} - t_{minss} + V_{tmin}) \,/\, 10^6 \qquad \text{(Eq 4)}$$

in cui $a_{b,fl}$ superficie dei piani (cf. 4.1.1.1)
ρ_{consl} = 2360 kg/m^3
t_{mniss} lo spessore minimo della lamiera grecata, ottenuto dal database
V_{tmniss} volume di calcestruzzo considerando uno spessore minimo di soletta, ricavato dal database

N.B:
- Per i solai a secco, $m_{consl} = 0$
- Per i solai senza lamiera in acciaio, nella formula precedente si considera $t_{minss} = 0$ e $V_{tmin} = 0$.

4.1.1.3 Struttura

Componenti in acciaio:

I parametri che definiscono gli elementi in acciaio della struttura sono definiti dall'utente:

- Peso totale delle travi m_{tsb}
- Peso totale delle colonne m_{tsc}
- Peso totale dei montanti m_{tst}
- Peso totale dei bulloni m_{tbo}
- Peso totale delle piastre di connessione m_{tpl}

Tasso di perdita dei profili in acciaio s_{plos}

Quest'ultimo parametro mette in evidenza che, al fine di considerare il peso finale m di un profilo nella struttura, è necessario far riferimento Al peso $m\,(1 + s_{plos})$ del profilo considerato.

Componenti in cemento armato:

I parametri che descrivono la struttura in cemento armato sono, come per i solai:

- Peso totale del calcestruzzo delle travi m_{tcb}
- Peso totale del cacelstruzzo dei pilastri m_{tcc}
- Peso totale dell'armatura m_{trs}
- Tipo di calcestruzzo, scelto tra le possibili soluzioni elencate di seguito:
  - Gettato in opera
  - Prefabbricato
- Classe del calcestruzzo, scelta tra quelle riportate nel seguente elenco:
  - C20/25
  - C30/37

Componenti in legno:

I parametri che descrivono gli elementi in legno sono riportati di seguito:

- Peso totale delle travi m_{twb}
- Peso totale delle colonne m_{twc}

4.1.1.4 Ipotesi per il trasporto

Trasporto del calcestruzzo dal sito di produzione al cantiere

I parametri che definiscono il trasporto del calcestruzzo sono indicati di seguito:

- Distanza da percorrere per il trasporto del calcestruzzo gettato in opera con la betoniera, d_{conmix}
- Distanza da percorrere per il trasporto del calcestruzzo prefabbricato con il camion, d_{conreg}

AMECO calcola le parti di calcestruzzo prodotto in cantiere o prefabbricato nel modo che segue:

Parte di calcestruzzo prodotto in cantiere: $m_{conmix} = m_1 + m_2$ (Eq 5)
Parte di calcestruzzo prefabbricato: $m_{conreg} = m_3 + m_4$ (Eq 6)

in cui $m_1 = m_{consl}$ se il tipo di calcestruzzo per gli elementi solaio in cemento armato è gettato in opera (cf. 4.1.1.2) ; negli altri casi $m_1 = 0$
$m_2 = m_{tcb} + m_{tcc} + m_{trs}$ se il tipo di calcestruzzo per gli elementi in cemento armato della struttura portante è gettato in opera (cf. 4.1.1.3); negli altri casi risulta $m_2 = 0$
$m_3 = m_{consl}$ se il tipo di calcestruzzo per gli elementi solaio in cemento armato (cf. 4.1.1.2) è prefabbricato; negli altri casi risulta $m_3 = 0$
$m_4 = m_{tcb} + m_{tcc} + m_{trs}$ se il tipo di calcestruzzo per gli elementi in cemento armato della struttura portante (cf. 4.1.1.3) è prefabbricato; negli altri casi risulta $m_4 = 0$

Trasporto dell'acciaio dal sito di produzione al cantiere

L'utente ha la duplice possibilità di considerare o meno i valori medi forniti dal database europeo per il trasporto dell'acciaio.

AMECO calcola il peso totale dell'acciaio trasportato attraverso la seguente relazione:

$$m_{tstrtot} = m_{tss} + m_{conrs} + m_{tsb} + m_{tsc} + m_{tsst} + m_{tbo} + m_{tpl} + m_{trs} \quad \text{(Eq 7)}$$

Se non si utilizzano i valori medi, è necessario prendere in considerazione i seguenti parametri aggiuntivi:

- Peso dell'acciaio trasportato con il treno m_{str}
- Distanza da percorrere per il trasporto dell'acciaio con il treno d_{str}
- Peso dell'acciaio trasportato con il camion m_{sreg}
- Distanza da percorrere per il trasporto dell'acciaio con il camion d_{sreg}

Inoltre, deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$m_{tstrtot} = m_{str} + m_{sreg} \quad \text{(Eq 8)}$$

Trasporto del legno dalla produzione al sito di costruzione:

I parametri che definiscono il trasporto del legno sono indicati di seguito:

- Peso del legno trasportato con il treno m_{wtr}
- Distanza da percorrere per il trasporto del legno con il treno d_{wtr}
- Peso del legno trasportato con il camion m_{wreg}
- Distanza da percorrere per il trasporto del legno con il camion d_{wreg}

AMECO calcola il peso totale del legno trasportato come segue:

$$m_{twtrtot} = m_{twb} + m_{twc} \quad \text{(Eq 9)}$$

Oltre all'equazione Eq 9, deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$m_{twtrtot} = m_{wtr} + m_{wreg} \quad \text{(Eq 10)}$$

4.1.1.5 Fase di fine vita

L'utente ha la possibilità di modificare tutti i parametri relativi alla fase di fine vita degli elementi.

Acciaio:

Dopo la demolizione dell'edificio, una parte degli elementi in acciaio è destinata al riciclo; in particolare, la quantità di elementi riciclati è indicata con l'abbreviazione $eol_{element}$. Inoltre, alcuni elementi strutturali quali travi e colonne possono essere riusati, perciò

viene introdotta la quantità specifica re_{sbc}. La parte di materiale che non può essere né riciclata, né riusata non sarà presa in considerazione.
In definitiva, le quantità che caratterizzano la fase di fine vita di un edificio in acciaio, definite dall'utente, sono riportate di seguito::

- Riciclo dell'armatura del solaio eol_{srs}
- Riciclo della lamiera eol_{sd}
- Riciclo di travi e colonne eol_{sbc}
- Riuso di travi e colonne re_{sbc}
- Riciclo di montanti e bulloni eol_{sstbo}
- Riciclo di piastre di connessione eol_{spl}

Cemento armato:

Gli elementi in cemento armato, a differenza di quelli in acciaio, non possono essere riciclati senza tenere conto della perdita di qualità del materiale dopo aver subito il processo di riciclo; tuttavia è comunque possibile valorizzare il riciclo del calcestruzzo sfruttando la possibilità di utilizzarlo per gli inerti. La quantità di elementi in calcestruzzo valorizzato è indicata con la seguente abbreviazione $val_{element}$.

I parametri che definiscono la "valorizzazione" del calcestruzzo, indicati dall'utente, sono i seguenti:

- Valorizzazione del calcestruzzo per i solai val_{confl}
- Valorizzazione del calcestruzzo per la struttura val_{const}

Legno

A seguito della demolizione di un edificio, una parte degli elementi in legno è destinata all'incenerimento. Durante questo processo, una percentule di energia rilasciata a seguito della combustione viene trasformata in potenza elettrica.

Il parametro che caratterizza la fase di fine vita del legno è la suddetta quantità, definita dall'utente nel modo seguente:

- Incenerimento con recupero energetico di elementi strutturali in legno inc_w

4.1.2 Definizione di un ponte

4.1.2.1 Struttura portante

Elementi in acciaio:

I parametri che caratterizzano gli elementi in acciaio di un ponte, definiti dall'utente, sono i seguenti:

- Peso totale dei profilati m_{tspbr}
- Peso totale di montanti m_{tstbr}
- Peso totale di piastre di estremità m_{tepbr}
- Peso totale di altri profili m_{totbr}
- Peso totale di altre barre m_{torbr}

- Tasso di perdita dei profili in acciaio s_{plos}

  Quest'ultimo parametro mette in evidenza che, al fine di considerare il peso finale *m* di un profilo nella struttura, è necessario far riferimento al peso $m\ (1 + s_{plos})$ del profilo considerato.

Cemento armato:

I parametri che descrivono gli elementi in cemento armato del ponte sonoindicati di seguito:

- Peso totale del calcestruzzo m_{tcbr}
- Peso totale dell'armatura in acciaio m_{trsbr}
- Tipo di calcestruzzo, scelto tra le possibili soluzioni elencate di seguito:
  - Gettato in opera
  - Prefabbricato
- Classe del calcestruzzo, scelta tra quelle riportate nel seguente elenco:
  - C20/25
  - C30/37

4.1.2.2 Ipotesi per il trasporto

Trasporto del calcestruzzo dal sito di produzione al cantiere

I parametri che definiscono il trasporto del calcestruzzo sono riportati di seguito:

- Distanza da percorrere per il trasporto del calcestruzzo gettato in opera con la betoniera $d_{conmixbr}$
- Distanza da percorrere per il trasporto del calcestruzzo prefabbricato con il camion $d_{conregbr}$

AMECO definisce le quantità di calcestruzzo prodotto in cantiere o prefabbricato attraverso i seguenti parametri:

- Quantità di calcestruzzo prodotto in cantiere: $m_{conmixbr}$
- Quantità di calcestruzzo prefabbricato: $m_{conregbr}$

in cui $m_{conmixbr} = m_{tcbr}$ se il tipo di calcestruzzo per gli elementi in cemento armato è gettato in opera; negli altri casi risulta pari a 0

$m_{conregbr}$ = m_{tcbr} se il tipo di calcestruzzo per gli elementi in cemento armato è prefabbricato; negli altri casi risulta pari a 0

Trasporto dell'acciaio dal sito di produzione al cantiere

L'utente ha la duplice possibilità di considerare o meno i valori medi forniti dal database europeo per il trasporto dell'acciaio.
AMECO calcola il peso totale dell'acciaio trasportato attraverso la seguente relazione:

$$m_{tstrtotbr} = m_{tspbr} + m_{tstbr} + m_{tepbr} + m_{totbr} + m_{torbr} + m_{trsbr} \quad \text{(Eq 11)}$$

Nel caso in cui si decida di non utilizzare i valori medi, è necessario prendere in considerazione i seguenti parametri aggiuntivi:

- Peso dell'acciaio trasportato con il treno m_{strbr}
- Distanza da percorrere per il trasporto dell'acciaio con il treno d_{strbr}
- Peso dell'acciaio trasportato con il camion m_{sregbr}
- Distanza da percorrere per il trasporto dell'acciaio con il camion d_{sregbr}

Inoltre, deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$m_{tstrtotbr} = m_{strbr} + m_{sregb} \quad \text{(Eq 12)}$$

4.1.2.3 Fase di fine vita

L'utente ha la possibilità di modificare tutti i parametri relativi alla fase di fine vita per gli elementi di un ponte, come già indicato in precedenza per gli edifici.

Acciaio:

I parametri che definiscono la fase di fine vita dell'acciaio, indicati dall'utente, sono:

- Riciclo dei profili eol_{spbr}
- Riuso dei profili re_{spbr}
- Riciclo di montanti eol_{stbr}
- Riciclo di piastre di estremità eol_{sepbr}
- Riciclo di ulteriori profili eol_{sotbr}
- Riciclo di altre barre eol_{sorbr}
- Riciclo dell'armatura eol_{srsbr}

Cemento armato:

Seguendo le stesse indicazioni fornite per gli edifici, è possibile esprimere La quantità che caratterizza la valorizzazione del calcestruzzo, definita dall'utente, come riportato di seguito:

- Valorizzazione del calcestruzzo val_{conbr}

4.1.3 Involucro dell'edificio

4.1.3.1 Geometria della facciata

La descrizione delle facciate include i seguenti parametri:

$A_{lat,tot}(dir)$	area della parete orientata in direzione *dir* calcolata automaticamente come il prodotto tra la lunghezza e l'altezza [m²]
$A_{lat,opening}(dir)$	area delle aperture nella direzione *dir* della parete definita considerando una percentuale dell'area totale della facciata [m²]
$A_{lat}(dir)$	area netta della parete orientata in direzione *dir* calcolata automaticamente come differenza tra la $A_{lat,tot}$ *(dir)* e la $A_{lat,opening}$ *(dir)* [m²]
$F_{glazing,sh}(dir)$	fattore di riduzione di ombreggiamento delle aperture secondo l'orientamento *dir*, valore predefinito,nascosto pari ad 1.
$F_{walls,sh}(dir)$	fattore di riduzione di ombreggiamento delle pareti secondo l'orientamento *dir*; valore predefinito, nascosto pari ad 1.

4.1.3.2 Proprietà della facciata

L'utente seleziona la tipologia di parete e di apertura (*Tipo di parete* e *Tipo di apertura*), scegliendo tra le diverse opzioni disponibili nella lista dei macro-componenti (vedi **Tabella 13** e **Tabella 14** nell'Allegato 2) e le variabili associate, indicate di seguito, si aggiornano automaticamente:

U_{walls}	trasmittanza termica *U* delle pareti [W/(m²K)], parametro non modificabile
$\kappa_{m,walls}$	inerzia termica per metro quadro [J/(m²K)]; parametro nascosto e non modificabile
$U_{mean,walls}$	trasmittanza termica *U* per le aperture [W/(m².K)]; parametro non modificabile
g_n	trasmittanza dell'energia solare per radiazione perpendicolare alle superfici vetrate, parametro nascosto (vedi **Tabella 13** nell'Allegato 2) [-]

La selezione dei dispositivi di ombreggiamento (*Tipologia e colore del dispositivo di ombreggiamento*, vedi **Tabella 19** riportata nell'Allegato 2) governa la variabile:

f_f	trasmittanza dell'energia solare della superficie vetrata con dispositivi di ombreggiamento [-]

I valori predefiniti per *Tipologia e colore del dispositivo di ombreggiamento* sono "Nessun dispositivo di ombreggiamento" e "Intermedio" il *Colore del dispositivo di ombreggiamento* , invece, non è mostrato nell'interfaccia del software.
La selezione degli oscuranti (*Tipo di oscurante*, vedi **Tabella 11** nell'Allegato 2) influenza il valore di quattro variabili, indicate di seguito:

R_{sh}	resistenza termica addizionale per una specifica permeabilità all'aria degli oscuranti [m².K/W]
ΔR_{high}	permeabilità alta o molto alta [m².K/W]
ΔR_{avg}	permeabilità media [m².K/W]
ΔR_{low}	permeabilità bassa [m².K/W]

Queste quattro variabili sono parametri nascosti, così come quelle riportate di seguito:

Attivazione del Riscaldamento Notturno	in relazione al controllo degli oscuranti, quest'ultimi sono chiusi durante la notte in modo da ridurre le dispersioni termiche attraverso la finestra; il valore è predefinito in accordo alla **Tabella 21** riportata nell'Allegato 2.
Attivazione del Raffrescamento Diurno	in relazione al controllo dei dispositivi di ombreggiamento, quest'ultimi sono attivati durante il giorno in modo da ridurre gli apporti termici solari nella stagione estiva attraverso le aperture; il valore è predefinito in accordo alla **Tabella 21**, riportata nell'Allegato 2.
Percentuale dell'Area del Telaio	valore predefinito 0.3 [-]

4.1.3.3 Piano terra

I seguenti parametri sono utilizzati per definire il piano terra:

U_f	valore di trasmittanza termica *U* del piano terra [W/(m².K)]
Tipologia solaio del piano terra	tipologia del solaio del piano terra che deve essere scelto dall'utente tra "Solaio contro-terra" o "Solaio sospeso"
$D_{concretebasefloor}$	spessore del solaio,valore predefinito 0 [m]
$M_{steelbasefloor}$	peso dell'armatura, valore predefinito 0 [t]

Il tipo di terreno (valore predefinito nascosto) governa due variabili:

(ρc)	capacità termica del terreno (vedi **Tabella 20** nell'Allegato 2), parametro nascosto [J/(m^3.K)]
λ	conduttività del terreno (vedi **Tabella 20**), parametro nascosto [W/(m.K)]

Altre variabili nascoste sono riportate di seguito:

w_{ground}	spessore delle pareti nel piano interrato, valore predefinito 0.2, [m]
$P_{eri,custom}$	perimetro del piano terra, [m]
$A_{ground,custom}$	superficie del piano terra, [m²]

Il perimetro e la superficie del piano terra non sono mostrati nell'interfaccia del software e sono calcolati automaticamente utilizzando le seguenti relazioni:

$$P_{eri} = 2(w_b + l_b)$$

$$A_{ground} = w_b l_b$$

In relazione alla *tipologia del solaio del piano terra* sono impostati i seguenti parametri, anche se non sono mostrati nell'interfaccia del software:

- <u>Solaio contro-terra</u>

  Numerose opzioni sono disponibili per l'isolamento: (*isolamento perimetrale*): "*assente*", *orizzontale*", "*verticale*" o "*entrambi*".
  Gli altri parametri sono:

$d_{n,hor}$	spessore dell'isolamento perimetrale orizzontale [mm]
λ_{hor}	conduttività termica del materiale isolante orizzontale [W/(mK)]
w_{hor}	larghezza dell'isolamento perimetrale orizzontale [m]
$d_{n,vert}$	spessore dell'isolamento perimetrale verticale [mm]
$\lambda_{n,vert}$	conduttività termica del materiale isolante verticale [W/(mK)]
$w_{n,vert}$	larghezza dell'isolamento perimetrale verticale [m]

- <u>Solaio rialzato</u>

  I parametri che definiscono un solaio rialzato sono:

h	altezza della parete al di sopra del terreno [m]
h_z	altezza della parete al di sotto del terreno [m]
A_{irflow}	flusso d'aria, valore predefinito 0.1 [ac/h]

A_{wind} rapporto tra l'area delle aperture per la ventilazione e il perimetro, valore nascosto, impostato su 1[m²/m]

$w_{avgspeed}$ velocità media del vento a 10 m di altezza [m/s]

Questi ultimi tre parametri sono collegati tra loro attraverso la seguente relazione:

$$w_{avgspeed} = \frac{A_{irflow} \cdot A_{ground}\left(h + h_z\right)}{3600 \cdot P_{eri} \cdot A_{wind}}$$

4.1.3.4 Parametri aggiuntivi

L'involucro edilizio è caratterizzato anche da alcuni parametri aggiuntivi, non mostrati nell'interfaccia del software ed indicati di seguito:

R_{se} resistenza termica della superficie esterna, valore predefinito 0.04 [m².K/W]

$a_{s,c}$ coefficiente di assorbimento per la radiazione solare, valore predefinito 0.5 [-]

h_r coefficiente di scambio termico radiativo esterno, valore predefinito 4.5 [W/(m²K)]

C_m capacità termica interna [J/K], calcolata attraverso la seguente relazione:

$$C_m = k_{m,walls} \cdot \sum_{dir} A_{lat}(dir) + k_{m,roof} \cdot A_{roof} + k_{m,ext,floor} \cdot A_{ext,floor} +$$
$$+ k_{m,ground} \cdot A_{floorground} + k_{m,\text{int}erm,floor} \cdot A_{\text{int}erm,floor} + k_{m,\text{int},walls} \cdot A_{\text{int},walls}$$

in cui :

$k_{m,walls}$ capacità termica interna delle pareti [J/K/m²], valore relativo al macro-componente della parete selezionato

$k_{m,roof}$ capacità termica interna della copertura [J/K/m²], valore relativo al macro-componente della copertura selezionato

$k_{m,ext,floor}$ capacità termica interna dei piani fuori terra [J/K/m²], valore predefinito 50000 J/K/m²

$k_{m,ground}$ capacità termica interna dei solai del piano terra [J/K/m²], valore predefinito 50000 J/K/m²

$k_{m,\text{int}\,erm,floor}$	capacità termica interna dei solai intermedi [J/K/m²], valore predefinito 50000 J/K/m²
$k_{m,\text{int},walls}$	capacità termica interna delle partizioni interne [J/K/m²], valore predefinito pari al doppio del valore di $k_{m,walls}$ J/K/m²
$Ratio_{\text{int}\,erm,walls}$	rapporto tra l'area dei tramezzi e l'area delle facciate, valore predefinito pari al 40%

4.1.3.5 Copertura

L'utente seleziona i macro-componenti per la copertura in accordo alla **Tabella 22** nell'Allegato 2.
I parametri che definiscono questo elemento edilizio sono:

U_{roof}	trasmittanza termica *U* della copertura piana, valore predefinito, non modificabile che dipende dal macro-componente, [W/(m².K)]
$A_{ext,floor}$	superficie del piano fuori terra, valore nascosto, predefinito pari a 0 [m²]
A_{roof}	superficie della copertura piana, valore nascosto, predefinito calcolato sulla base delle dimensioni dell'edificio [m²]
$A_{slopedroof}$	superficie della copertura a spiovente, valore nascosto, predefinito pari a 0 [m²]
$A_{roof,opening}$	superficie dei lucernari, valore nascosto, predefinito pari a 0 [m²]
$F_{glazing,sh,roof}$	fattore di ombreggiamento dei lucernari, valore nascosto, predefinito pari a 0
$U_{slopedroof}$	trasmittanza termica *U* per la copertura a spiovente, valore nascosto, predefinito impostato su 0 [W/(m².K)]
$U_{ext,floor}$	trasmittanza termica *U* per i piani fuori terra, valore nascosto, predefinito pari a 0 [W/(m².K)]
$U_{floorunconditionedspace}$	trasmittanza termica *U* del piano dell'ambiente non climatizzato, valore nascosto, predefinito 0 [W/(m².K)]

4.1.4 Occupazione

L' occupazione è un altro importante aspetto da considerare per il calcolo del fabbisogno energetico di un edificio. E' necessario, infatti, tener presente per quanto tempo si "occupa" un edificio, considerando il giorno diviso per tre archi temporali e distinguendo i giorni lavorativi da quelli festivi relativi al fine settimana. Infine è necessario considerare

altre due condizioni: da un lato il grado di presenza degli occupanti, dall'altro la necessità di avere un sistema di illuminazione. Queste scelte variano a seconda che si faccia riferimento alle aree di climatizzazione primaria (area 1) o alle aree con altre esigenze di climatizzazione (area 2).

Si individuano 24 scenari possibili, che non sono mostrati nell'interfaccia del programma AMECO e sono descritti attraverso i parametri indicati di seguito:

$h_{function,beg,place,Date,i}$	orario iniziale [h]
$h_{function,end,place,Date,i}$	orario finale [h]
$Gain_{function,place,Date,i}$	apporto termico interno [h]

in cui:

- *funzione* Є {occupanti; illuminazione},
- *ambiente* Є {area 1; area 2},
- *Data* Є {da Lunedì a Venerdì; da Sabato a Domenica},
- *i* Є {1; 2; 3}.

I valori predefiniti sono indicati dalla **Tabella 24** alla **Tabella 27** (Allegato 2) e variano a seconda del tipo di edificio considerato.
Le condizioni interne sono relative al benessere degli occupanti e sono definite da 4 parametri. I valori predefiniti, non modificabili, sono impostati in relazione alla **Tabella 28** (Allegato 2):

$\theta_{int,set,H}$	temperatura interna di regolazione per il riscaldamento [°C]
$\theta_{int,set,C}$	temperatura interna di regolazione per il raffrescamento [°C]
n_H	portata d'aria per la modalità riscaldamento (per m²) [m^3/(h.m²)]
n_C	portata d'aria per la modalità raffrescamento (per m²) [m^3/(h.m²)]

4.1.5 Impianti dell'edificio

Il software fornisce la possibilità di scegliere la tipologia di impianto considerando quattro opzioni possibili.

4.1.5.1 Impianto di riscaldamento

L'utente deve definire la tipologia dell'impianto di riscaldamento ($\eta_{HeatingTypeSystem}$, vedi **Tabella 15** nell'Allegato 2).
Questa scelta ha una grande rilevanza sull'efficienza del sistema di riscaldamento considerato nei calcoli, espressa attraverso il seguente parametro:

$\eta_{HeatingEfficiencySystem}$	rendimento del sistema di riscaldamento, parametro nascosto in modalità normale [-]

L'energia usata ($EnergyType_{heating}$), con valori predefiniti in accordo alla **Tabella 18** (Allegato 2), governa un fattore che permette di convertire l'energia finale in energia primaria:

$k_{energytype,heating}$	tipo di energia (**Tabella 18** nell'Allegato 2) [kgoe/kWh]

Questi due campi risultano nascosti nell'interfaccia del software.
I parametri utilizzati nel programma in relazione a questo modulo, ma non mostrati nell'interfaccia, sono riportati di seguito. I valori sono considerati in accordo alla **Tabella 29** (Allegato 2).

$h_{begd,heating}$	orario di inizio programmazione [h]
$h_{end,heating}$	orario di fine programmazione [h]
$NbDay_{working,heating}$	numero di giorni lavorativi a settimana [-]

4.1.5.2 Impianto di raffrescamento

L'utente deve impostare il tipo di impianto di raffrescamento *($\eta CoolingType_{System}$*,, vedi **Tabella 16** nell'Allegato 2).

Tale scelta che ha un'influenza considerevole sull'efficienza del sistema di raffrescamento, identificata attraverso il seguente parametro:

$\eta_{CoolingEfficiencySystem}$	rendimento del sistema di raffrescamento, valore nascosto [-]

L'energia impiegata (*$EnergyType_{cooling}$*), con valori predefiniti in accordo alla **Tabella 18** nell'Allegato 2, governa un fattore che permette di convertire l'energia finale in energia primaria:

$k_{energytype,cooling}$	tipo di energia (vedi **Tabella 18** nell'Allegato 2) [kgoe/kWh]

Questi due campi non sono visibili nell'interfaccia del software.

Infine, come per il sistema di riscaldamento, è possibile definire un'ulteriore variabile nascosta, che assume un valore predefinito come si riportato in **Tabella 31** (Allegato 2):

$NbDay_{working,cooling}$	numero dei giorni lavorativi a settimana [-]

4.1.5.3 Impianto di ventilazione

La scelta dell'impianto di ventilazione si basa sull'uso di un sistema di recupero termico (*HeatRecovery*); in questo caso, le caratteristiche del sistema sono rappresentate dai seguenti parametri:

%Recupero termico	percentuale del flusso di volume dell'aria che attraversa l'unità di recupero termico, valore nascosto, predefinito, impostato su 0.8 [-]
η_{hru}	rendimento dell'unità di recupero termico, valore nascosto, predefinito pari a 0.6 [-]

4.1.5.4 Impianto per la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS)

La tipologia di impianto per la produzione di ACS ($\eta_{TypeDHW}$, vedi **Tabella 17** nell' Allegato 2) è legato all'efficienza di tale sistema, attraverso il seguente parametro:

η_{DHW}	rendimento del sistema di ACS, parametro nascosto [-]

L'energia usata (*EnergyType$_{DHW}$*), con valori predefiniti in accordo alla **Tabella 18** (Allegato 2).

$k_{energytype,DWH}$ [kgoe/kWh]	tipo di energia (vedi **Tabella 18,** Allegato 2)

Il sistema ACS dipende da diversi parametri:

$\theta_{w,t}$	temperatura di mandata dell'acqua desiderata, valore nascosto, predefinito, impostato su 60 [°C]
$\theta_{w,outside}$	temperatura dell'acqua in ingresso, valore nascosto, predefinito impostato su 15 [°C]
$DHW_{energyreduction}$	quantità di energia impiegata per la produzione di ACS fornita dalle fonti di energia rinnovabile, valore nascosto, predefinito pari a 0 [-]

4.2 Costanti e parametri specifici

Costanti generali:

Durata del Mese (m)	numero di secondi nel mese *m* in mega secondi
Giorni nel Mese (m)	numero di giorni nel mese *m* [-]
Nr Giorni Lavorativi (m)	numero di giorni lavorativi nel mese *m* [-]

I parametri, definiti di seguito, sono trattati in modo specifico: inizialmente, sono considerati come dati di ingresso ma all'interno del software sono trattati come costanti, poiché il loro significato potrebbe essere poco chiaro per l'utente:

F_w	fattore di correzione per vetri basso emissivi [-]
f_w	fattore di protezione al vento [-]

$b_{tr,U}$	fattore di correzione per aree non climatizzate [-]
$\mathrm{F_{r,v}}$	fattore di radiazione per la copertura verticale [-]
$\mathrm{F_{r,h}}$	fattore di radiazione per le pareti orizzontali [-]

Parametri specifici per la **modalità riscaldamento**:

$k_{D,cor,H}$	fattore di correzione di scambio termico per trasmissione [-]
$k_{cor,ve,H}$	fattore di correzione di scambio termico per ventilazione [-]
$k_{cor,int,H}$	fattore di correzione degli apporti termici interni [-]
$k_{cor,H}$	fattore di correzione di radiazione termica solare [-]
a_{H0}	parametro numerico di riferimento adimensionale [-]
τ_{H0}	parametro numerico di riferimento adimensionale relativo alla costante di tempo [h]
$b_{H,red}$	fattore di correlazione empirico con valore fisso,impostato (pari su 3) [-]

Alcuni di questi parametri dipendono dalla classificazione climatica di Geiger e dalla presenza dei dispositivi di ombreggiatura (vedi **Tabella 23,** Allegato 2).

I parametri specifici per la **modalità raffrescamento** sono:

$k_{D,cor,C}$	fattore di correzione di scambio termico per trasmissione [-]
$k_{cor,ve,C}$	fattore di correzione di scambio termico per ventilazione [-]
$k_{cor,int,C}$	fattore di correzione degli apporti termici interni [-]
$k_{cor,C}$	fattore di correzione di radiazione termica solare [-]
a_{C0}	parametro numerico di riferimento adimensionale [-]
τ_{C0}	parametro numerico di riferimento adimensionale relativo alla costante di tempo [h]
$b_{C,red}$	fattore di correlazione empirico con valore fisso, impostato su 3 [-]

Alcuni di questi parametri dipendono dalla classificazione climatica di Geiger e dalla presenza dei dispositivi di ombreggiatura (vedi **Tabella 23,** Allegato 2).

I parametri da considerare per la **produzione di ACS**, definiti in accordo alla norma EN15316-3-1, sono rappresentatati dalle seguenti costanti (in relazione agli edifici residenziali):

$X = 62$ [l/(day.m²)]
$Y = 160$ [l/(day.m²)]
$Z = 2$ [l/(day.m²)]

4.3 Calcolo degli impatti ambientali di una struttura

4.3.1 Introduzione

Il metodo di valutazione degli impatti ambientali, usato in AMECO 3, include 24 indicatori e considera lo schema a moduli del ciclo di vita, introdotto dalla normativa internazionale, individuando i seguenti moduli:

- Modulo A: fase di produzione e processo di costruzione
- Modulo B: fase d'uso
- Modulo C: fase del fine vita
- Modulo D: benefici e carichi al di fuori dei confini del sistema

I 24 indicatori sono descritti dalle stesse equazioni; tuttavia si differenziano in relazione ai i valori dei coefficienti, riportati di seguito (**Tabella 2** e **Tabella 3**).

La denominazione di ogni coefficiente è mostrata in Tabella 2 e i valori, inclusi nel software AMECO3 e, definiti in dettaglio nei successivi paragrafi, risultano equivalenti sia per gli edifici che per i ponti, ma non sono modificabili.

In AMECO, i coefficienti di impatto sono definiti solo per 10 indicatori; i restanti 14 indicatori, sono caratterizzati da coefficienti con un valore fisso pari a zero.

Coefficienti di impatto	Denominazione
RER: Produzione mondiale delle piastre in acciaio	$k_{RERStPl}$
RER: Produzione mondiale dei profili in acciaio	$k_{RERStSec}$
GLO: Produzione mondiale delle barre in acciaio	k_{GLOSt}
RER: Produzione mondiale di acciaio zincato	$K_{RERStHDG}$
DE: Calcestruzzo C20/25 PE	$k_{DEConC20}$
DE: Calcestruzzo C30/37 PE	$k_{DEConC30}$
DE: Legno lamellare PE [for 1kg]	k_{DEW}
GLO: Quantità mondiale di scarti di acciaio	k_{GLO}
Demolizione edificio in acciaio - impatto di 1kg trattato	$k_{StBldgDem}$
CH: smaltimento, edificio, calcestruzzo, senza armatura, fino allo smaltimento in discarica	k_{CHCon}
CH: smaltimento, edificio, armatura fino allo smaltimento in discarica	k_{CHSt}
CH: smaltimento presso impianto di separazione, edificio, calcestruzzo, senza armatura [incl. 40% in discarica]	$k_{CHConPlt}$
CH: smaltimento in discarica, edificio, armatura	$k_{CHStPlt}$
CH: smaltimento di inerti, calcestruzzo, 5% acqua	$k_{CHConLdf}$
CH: smaltimento di inerti alla cava, non specificato	k_{CHGr}
RER: discarica per materiali inerti (Acciaio) PE	$k_{RERStLdf}$
EU-27: rifiuti da incenerimento di prodotti in legno (pannello OSB) ELCD/CEWEP <p-agg> [1kg di legno]	k_{EUWWa}
Guadagno per l'incenerimento dei rifiuti (agg minus p-agg)	k_{Wa}
EU-27: Discarica di prodotti in legno (pannello OSB,) PE <p-agg>	k_{EUWLdf}

CH: Smaltimento in discarica sanitaria di materiale inerte, 0% acqua	k_{CHLdf}
RER: trasporto con un autoarticolato PE [per 1tkm]	k_{RERALT}
Trasporto con il treno [per 1tkm]	k_{Tr}
Trasporto del calcestruzzo con il camion [per 100kgkm]	k_{Cont}
Trasporto europeo medio dell'acciaio [per 1t sulla distanza europea media]	k_{StAvg}
EU-27: Mix energetic europeo PE [1kWh]	k_{EUElec}
Recupero di Energia elettrica in uscita	k_{EOR}
RER: Produzione mondiale delle piastre in acciaio (scarti in ingresso)	$k_{RERStPl0}$
RERProduzione mondiale dei profili in acciaio (scarti in ingresso)	$k_{RERStSec0}$
RER: Produzione mondiale di accaio zincato (scarti in ingresso)	$k_{RERStHDG0}$
GLO: Produzione mondiale delle barre in acciaio (scarti in ingresso)	k_{GLOSt0}

Tabella 2: Denominazione dei coefficienti

Gli acronimi usati in **Tabella 2** sono indicati di seguito nella loro denominazione completa:

- GLO : Globale (valore medio)
- DE : Germania (valore medio)
- CH : Svizzera (valore medio)

Gli ultimi 5 coefficienti d'impatto (senza unità di misura) hanno lo stesso valore per tutti gli indicatori di impatto, come riportato di seguito:

k_{EOR}	8.865E-01
$k_{RERStPl0}$	1.125E-01
$k_{RERStSec0}$	8.492E-01
$k_{RERStHDG0}$	9.162E-02
k_{GLOSt0}	6.983E-01

Tabella 3: Valori per i coefficienti relativi agli elementi di scarto

4.3.1.1 Parametri che descrivono gli impatti ambientali

La **Tabella 4** contiene i valori dei coefficienti degli indicatori GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP-elementi, ADP-combustibili fossili

	GWP	**ODP**	**AP**	**EP**	**OCP**	**APD-e**	**ADP-ff**
	t CO2 eq/ t	t CFC eq/ t	t SO2 eq/ t	t Ethene eq/ t	t PO4 eq/ t	t Sb eq/ t	GJ NCV/ t
$k_{RERStPl}$	2.458 E+00	9.112 E-09	6.229 E-03	4.424 E-04	1.170 E-03	5.396 E-07	2.538 E+01
$k_{RERStSec}$	1.143 E+00	4.948 E-08	3.158 E-03	2.706 E-04	5.051 E-04	-7.001 E-06	1.239 E+01

k_{GLOSt}	1.244 E+00	1.110 E-08	3.533 E-03	2.802 E-04	5.494 E-04	-2.103 E-06	1.349 E+01
$K_{RERStHDG}$	2.556 E+00	3.726 E-08	6.980 E-03	4.486 E-04	1.243 E-03	2.318 E-05	2.621 E+01
$k_{DEConC20}$	9.883 E-02	5.635 E-11	1.485 E-04	2.610 E-05	1.740 E-05	1.553 E-07	4.626 E-01
$k_{DEConC30}$	1.114 E-01	6.562 E-11	1.524 E-04	2.553 E-05	1.778 E-05	1.867 E-07	4.545 E-01
k_{DEW}	-1.185 E+00	1.347 E-09	1.179 E-03	1.418 E-04	1.243 E-04	1.317 E-07	7.670 E+00
k_{GLO}	1.512 E+00	-4.834 E-08	3.610 E-03	9.974 E-05	8.072 E-04	7.272 E-06	1.598 E+01
$k_{StBldgDem}$	8.810 E-04	3.251 E-12	9.345 E-06	1.193 E-06	8.33 E-07	3.461 E-10	1.212 E-01
k_{CHCon}	1.401 E-02	3.098 E-09	8.901 E-05	2.551 E-05	1.590 E-05	1.448 E-08	2.771 E-01
k_{CHSt}	6.732 E-02	9.741 E-09	4.988 E-04	1.387 E-04	7.727 E-05	2.544 E-08	1.017 E+00
$k_{CHConPlt}$	1.398 E-02	2.527 E-09	3.581 E-04	2.831 E-05	1.456 E-05	1.956 E-08	2.398 E-01
$k_{CHStPlt}$	6.139 E-02	7.782 E-09	4.629 E-04	1.295 E-04	6.945 E-05	2.279 E-08	8.537 E-01
$k_{CHConLdf}$	7.102 E-03	2.128 E-09	4.226 E-05	1.223 E-05	8.602 E-06	7.345 E-09	1.785 E-01
k_{CHGr}	2.824 E-03	3.257 E-10	1.760 E-05	6.317 E-06	2.284 E-06	9.374 E-09	3.626 E-02
$k_{RERStLdf}$	1.396 E-02	1.368 E-11	8.491 E-05	1.163 E-05	8.972 E-06	4.949 E-09	1.865 E-01
k_{EUWWa}	1.671 E+00	2.920 E-09	6.252 E-04	1.428 E-04	4.099 E-05	-4.267 E-08	5.289 E-01
k_{Wa}	-7.514 E-01	-7.786 E-08	-4.946 E-03	-2.013 E-04	-2.622 E-04	-3.164 E-08	-8.651 E+00
k_{EUWLdf}	1.455 E+00	2.606 E-10	4.386 E-04	1.878 E-03	3.408 E-04	1.370 E-08	1.082 E+00
k_{CHLdf}	1.228 E-02	3.091 E-09	7.480 E-04	2.565 E-05	1.382 E-05	1.490 E-08	2.781 E-01
k_{RERALT}	4.714 E-02	1.749 E-11	3.085 E-04	7.432 E-05	-1.260 E-04	1.861 E-09	6.515 E-01
k_{Tr}	1.711 E-02	8.846 E-10	8.593 E-05	9.950 E-06	7.298 E-06	1.250 E-09	2.036 E-01
k_{Cont}	1.201 E-02	4.452 E-12	7.527 E-05	1.806 E-05	-3.035 E-05	4.739 E-10	1.659 E-01
k_{StAvg}	2.422 E+01	1.328 E-07	1.548 E-01	3.578 E-02	-5.727 E-02	1.037 E-06	3.301 E+02
k_{EUElec}	4.887 E-01	3.192 E-08	2.083 E-03	1.118 E-04	1.267 E-04	4.007 E-08	5.569 E+00

Tabella 4: Valori per i coefficienti ambientali

4.3.1.2 Parametri che descrivono l'uso delle risorse, materiali e fossili secondari e uso dell'acqua

La **Tabella 5** contiene i valori dei coefficienti in relazione ai tre indicatori indicati di seguito:

- Impiego totale di energia primaria rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria usate come materie prime) [RPE-Total].
- Impiego di energia primaria non rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria usate come materie prime) [Non RPE-Total].
- Impiego dell'acqua della rete idrica [NFW].

	RPE-Totale	Non RPE totale	NFW
	GJ NCV / t	GJ NCV / t	$10^3 m^3$ / t
$k_{RERStPl}$	2.987E-01	2.577E+01	1.352E-02
$k_{RERStSec}$	6.107E-01	1.419E+01	1.332E-03
k_{GLOSt}	2.362E+00	1.406E+01	1.387E-02
$K_{RERStHDG}$	5.477E-01	2.768E+01	1.586E-02
$k_{DEConC20}$	3.458E-02	5.084E-01	3.208E-04
$k_{DEConC30}$	3.692E-02	5.077E-01	3.225E-04
k_{DEW}	1.855E+01	8.766E+00	6.636E-01
k_{GLO}	-8.226E-01	1.423E+01	1.307E-02
$k_{StBldgDem}$	4.747E-03	1.216E-01	1.228E-04
k_{CHCon}	2.259E-03	2.879E-01	1.264E-02
k_{CHSt}	5.325E-03	1.043E+00	3.083E-02
$k_{CHConPlt}$	8.531E-03	2.821E-01	4.905E-02
$k_{CHStPlt}$	9.525E-03	9.019E-01	5.568E-02
$k_{CHConLdf}$	1.464E-03	1.855E-01	7.997E-03
k_{CHGr}	6.248E-03	6.613E-02	3.753E-02
$k_{RERStLdf}$	1.450E-02	1.960E-01	2.788E-04
k_{EUWWa}	1.618E-02	6.576E-01	4.269E-03
k_{Wa}	-1.063E+00	-1.172E+01	-1.042E-03
k_{EUWLdf}	4.911E-02	1.134E+00	3.901E-02
k_{CHLdf}	4.758E-03	3.005E-01	3.552E-04
k_{RERALT}	2.553E-02	6.539E-01	6.604E-04
k_{Tr}	3.643E-02	2.858E-01	1.561E-04
k_{Cont}	6.499E-03	1.665E-01	1.681E-04
k_{StAvg}	1.694E+01	3.428E+02	3.275E-01
k_{EUElec}	1.246E+00	8.534E+00	3.829E-03

Tabella 5: Valori dei coefficienti ambientali per uso delle risorse, materiali e fossili secondari e uso di acqua

Data la scarsa disponibilità di alcuni dati, i coefficienti degli indicatori , riportati di seguito,sono impostati sul valore zero (di conseguenza il valore dell'impatto risulta pari a zero):

- Impiego di energia primaria rinnovabile, escludendo le risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime [RPE].
- Impiego di risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime [RER].
- Impiego di energia primaria non rinnovabile escludendo le risorse di energia primaria non rinnovabile usate come materie prime [Non-RPE].
- Impiego di risorse di energia primaria non rinnovabile usate come materie prime [Non-RER].
- Impiego di materiali secondari [SM].
- Impiego di combustibili secondari rinnovabili [RSF].
- Impiego di combustibili secondari non rinnovabili [Non-RSF].

4.3.1.3 Altre indicatori ambientali che descrivono le categorie di rifiuti

La **Tabella 6** contiene i valori dei coefficienti per i seguenti indicatori:

- Rifiuti pericolosi smaltiti.
- Rifiuti non pericolosi smaltiti.
- Rifiuti radioattivi smaltiti.

	Rifiuti pericolosi smaltiti	**Rifiuti non pericolosi smaltiti**	**Rifiuti radioattivi smaltiti**
	t /t	t / t	t / t
$k_{RERStPl}$	-6.239E-04	-1.306E-03	-1.663E-04
$k_{RERStSec}$	-5.212E-04	-8.676E-04	-3.832E-04
k_{GLOSt}	-2.460E-04	-1.186E-04	-1.428E-04
$K_{RERStHDG}$	-4.771E-04	-6.745E-04	-4.717E-04
$k_{DEConC20}$	0.000E+00	0.000E+00	-1.859E-05
$k_{DEConC30}$	0.000E+00	0.000E+00	-2.164E-05
k_{DEW}	0.000E+00	1.483E+00	4.461E-04
k_{GLO}	-1.536E-05	-3.524E-06	5.177E-04
$k_{StBldgDem}$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{CHCon}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{CHSt}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$k_{CHConPlt}$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$k_{CHStPlt}$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$k_{CHConLdf}$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{CHGr}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$k_{RERStLdf}$	0.000E+00	1.000E+00	-3.459E-06
k_{EUWWa}	0.000E+00	-6.430E-02	-3.659E-05
k_{Wa}	0.000E+00	1.940E+00	9.767E-04
k_{EUWLdf}	0.000E+00	4.813E-01	-1.972E-05
k_{CHLdf}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

k_{RERALT}	0.000E+00	0.000E+00	-9.099E-07
k_{Tr}	0.000E+00	0.000E+00	-3.383E-05
k_{Cont}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{StAvg}	0.000E+00	0.000E+00	-5.190E-03
k_{EUElec}	0.000E+00	-1.827E+00	-1.220E-03

Tabella 6: Altri indicatori ambientali che descrivono le categorie di rifiuti

4.3.1.4 Altre indicatori ambientali che descrivono i flussi di uscita

I coefficienti per i seguenti quattro indicatori sono sconosciuti e impostati sul valore zero:

- Componenti per il riuso.
- Materiali per il riciclo.
- Materiali per il recupero energetico.
- Energia esportata.

4.3.2 Impatto ambientale di un edificio

4.3.2.1 Modulo A

Le equazioni per la valutazione degli impatti ambientali per il Modulo A sono riportate in **Tabella 7**; in particolare le equazioni evidenziate rappresentano le espressioni modificate o aggiunte nell'ambito del progetto LVS3.

Modulo A			
Fase di produzione	**A1 Approvvigionamento materie prime**	Cls per solai	$m_{consl}\ k_{DECon}$
		Acciaio per lamiere grecate	$m_{tss}\ k_{RERStHDG}$
		Cls per struttura portante	$(m_{tcb} + m_{tcc})\ k_{DECon}$
		Acciaio per armatura	$(m_{conrs} + m_{trs})\ k_{GLOSt}$
		Travi di acciaio	$m_{tsb}\ (1 + S_{plos})\ k_{RERStSec}$
		Colonne di acciaio	$m_{tsc}\ (1 + S_{plos})\ k_{RERStSec}$
		Travi di legno	$m_{twb}\ k_{DEW}$
		Colonne di legno	$m_{twc}\ k_{DEW}$
	A3 Manifattura	Perdite per la produzione	$(m_{tsb} + m_{tsc})\ S_{plos}\ k_{RERALT} / 10$
		Montanti e bulloni d'acciaio	$(m_{tst} + m_{tbo})\ k_{GLOSt}$
		Piastre di connessione	$m_{tpl}\ k_{RERStPl}$
	A1-A3	Macro-componente	
Fase processo di costruzione	**A4 Trasporto**	Cls – betoniera	$m_{conmix}\ d_{conmix}\ k_{Cont} / 100$
		Cls – camion	$m_{conreg}\ d_{conreg}\ k_{RERALT} / 1000$
		Acciaio - camion	$m_{sreg}\ d_{sreg}\ k_{RERALT} / 1000$
		Acciaio – treno	$m_{str}\ d_{str}\ k_{Tr} / 1000$
		Acciaio - trasporto medio	$m_{tstrtot}\ k_{StAvg}$
		Legno – treno	$m_{wtr}\ d_{wtr}\ k_{Tr} / 1000$
		Legno – camion	$m_{wreg}\ d_{wreg}\ k_{RERALT} / 1000$
		Macro-componente	
Totale Modulo A			Somma di tutte le quantità del modulo A

Tabella 7: impatti ambientali per il modulo A

In relazione ai parametri aggiunti per il piano terra, le equazioni risultano modificate nel modo seguente:

- Peso totale del cls $m_{consl,LVS3}$:

  $m_{consl,LVS3} = m_{consl} + D_{concretebasefloor}\, A_{ground} \cdot \rho_{consl}$

- Peso dell'armatura:

  $(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor})\, k_{GLOSt}$

Nella fase di produzione è stata considerata un'ulteriore aliquota definita attraverso la seguente relazione::

$$Macro-component_{A1-A3} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{A1-A3,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{A1-A3,opening}$$

$$Macro-component_{A1-A3} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{A1-A3,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{A1-A3,opening} + A_{roof} \cdot k_{A1-A3,roof}$$

Il peso totale dell'acciaio trasportato $m_{tstrtot,LVS3}$ risulta quindi:

$m_{tstrtot,LVS3} = m_{tstrtot} + M_{steelbasefloor}$

Anche nella fase di costruzione è stata considerata un'ulteriore aliquota espressa attraverso la seguente relazione:

$$Macro-component_{A4} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{A4,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{A4,opening}$$

$$Macro-component_{A4} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{A4,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{A4,opening} + A_{roof} \cdot k_{A4,roof}$$

I valori di $k_{A1-A3,wall}$, $k_{A4,wall}$, $k_{A1-A3,opening}$ e $k_{A4,opening}$ sono indicati nell'Allegato 4.

4.3.2.2 Modulo B: fase d'uso

L'analisi degli impatti ambientali relativi alla fase d'uso viene effettuata seguendo alcuni passi consecutivi: in primo luogo è opportuno determinare le caratteristiche del piano terra; successivamente, si valuta sia il fabbisogno energetico per gli ambienti da riscaldare che gli apporti termici solari associati, procedendo in maniera analoga per la modalità di raffrescamento.
La fase successiva è dedicata all'impianto per la produzione di acqua calda sanitaria.
Infine, si effettua un'analisi globale tenendo conto di tutte i termini definiti nelle fasi precedenti per la valutazione ambientale.

4.3.2.2.1 Valutazione delle caratteristiche del piano terra (ISO 13370)

In questa parte del documento saranno calcolati alcuni parametri che definiscono il piano terra, ovvero H_g,H_{pi}, H_{pe}, α e β.

Indipendentemente dalla *Tipologia del piano terra*, è necessario stimare i seguenti valori intermedi:

$$B' = \frac{A_{ground}}{0.5 P_{eri}}$$

$$d_{ground} = w_{ground} + \frac{\lambda}{U_f}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{3.15 \cdot 10^7 \lambda}{\pi(\rho c)}}$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_{ground}} \ln\left(1 + \frac{\pi B'}{d_{ground}}\right)$$

Si assume che la temperatura interna sia costante, perciò risulta:

$$H_{pi} = 0$$

Inoltre, qualunque sia il tipo di piano terra considerato, il valore di α è unico:

$$\alpha = 0$$

Il resto dei parametri dipende dal **tipologia del solaio del piano terra**:

- **Solaio controterra**

Il parametro β, per un solaio che poggia direttamente sul terreno, risulta pari a: $\beta = 1$

<u>Calcolo di H_g :</u>

$$U = \begin{cases} U_g & \text{se } d_{ground} < B' \\ \dfrac{\lambda}{0.4587 B' + d_{ground}} & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

da cui si deduce:

$$H_g = U \cdot A_{ground}$$

<u>Calcolo di H_{pe}:</u>

$$d'_{n,hor} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_{hor}} - 1\right) \cdot d_{n,hor} \cdot 10^{-2}$$

$$d'_{n,vert} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_{vert}} - 1 \right) \cdot d_{n,vert} \cdot 10^{-2}$$

$$H_{pe,hor} = 0.37 P_{eri} \cdot \lambda \left[\left(1 - \exp\left(-\frac{w_{hor}}{\delta} \right) \right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground} + d'_{n,hor}} \right) + \right.$$
$$\left. + \exp\left(-\frac{w_{hor}}{\delta} \right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}} \right) \right]$$

$$H_{pe,vert} = 0.37 P_{eri} \cdot \lambda \left[\left(1 - \exp\left(-\frac{2w_{vert}}{\delta} \right) \right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground} + d'_{n,vert}} \right) + \right.$$
$$\left. + \exp\left(-\frac{2w_{vert}}{\delta} \right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}} \right) \right]$$

$$H_{pe} = \begin{cases} 0.37 P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left(1 + \frac{\delta}{\delta_{ground}} \right) & \textit{se isolante = nessuno} \\ H_{pe,hor} & \textit{se isolante = orizzontale} \\ H_{pe,vert} & \textit{se isolante = verticale} \\ \min\left(H_{pe,hor} ; H_{pe,vert} \right) & \textit{negli altri casi} \end{cases}$$

- **Solaio rialzato**
  Il parametro β è impostato sul valore zero per il solaio rialzato: $\beta = 0$

<u>*Calcolo di H_g*</u>

$$U_x = \frac{2hU_{walls}}{B'} + \frac{1450 \cdot A_{wind} \cdot w_{avgspeed} \cdot f_w}{B'}$$

$$U_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{Uf} + \frac{1}{U_g}}$$

Da cui si ricava che :

$$H_g = U_{eq} \cdot A_{ground}$$

Calcolo di H_{pe}

$$H_{pe} = U_f \cdot \frac{0.37 P_{eri} \lambda \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) + U_x \cdot A_{ground}}{\frac{\lambda}{\delta} + U_x + U_f}$$

4.3.2.2.2 Fabbisogno energetico per il riscaldamento e gli apporti termici solari

Il calcolo del fabbisogno energetico e dei apporti termici solari per il riscaldamento e il raffrescamento viene effettuato attraverso una procedura abbastanza simile; le uniche differenze si riscontrano in poche equazioni e in alcune variabili i cui valori specifici dipendono dalla modalità riscaldamento o raffrescamento considerata. Per questo motivo, il calcolo in AMECO 3 si baserà sullo stesso modulo, prendendo in considerazione le caratteristiche specifiche per ciascuna modalità.

- **Parametri preassegnati**

Prima di procedere al calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento di un ambiente, sono assegnati i seguenti parametri relativi alla modalità di riscaldamento:

1. $H_g = H_{g,H}$
2. $H_{pi} = H_{pi,H}$
3. $H_{pe} = H_{pe,H}$
4. $\overline{\theta}_i = \theta_{\text{int},set,H}$
5. $k_{D,cor} = k_{D,cor,H}$
6. $k_{D,cor,ve} = k_{D,cor,ve,H}$
7. $k_{D,cor,\text{int}} = k_{D,cor,\text{int},H}$
8. $k_{cor} = k_{cor,H}$
9. $f_{shut}(m) = f_{H,shut}(m)$
10. $AFR_{floor} = n_H$
11. $a_0 = a_{H0}$
12. $\tau_0 = \tau_{H0}$
13. $b_{red} = b_{H,red}$
14. $\eta_{EfficiencySystem} = \eta_{HeatingEfficiencySystem}$
15. $k_{energytype} = k_{energytype,heatingating}$

- **Scambio termico per trasmissione**

Le formule seguenti si riferiscono allo scambio termico attraverso il terreno.

La temperatura esterna media annuale risulta pari al valore ottenuto attraverso la relazione seguente:

$$\overline{\theta}_e = \sum_m \frac{\theta_{ext}(m)}{12}$$

L'ampiezza delle variazioni della temperatura media mensile sono:

$$\widehat{\theta}_i = 0$$

$$\widehat{\theta}_e = \frac{\max\left(\theta_{ext}(m)\right) - \min\left(\theta_{ext}(m)\right)}{2}$$

Le temperature medie mensili per il mese *m* risultano:

$$\theta_i(m) = \overline{\theta}_i - \widehat{\theta}_i \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m}{12}\right)$$

$$\theta_e(m) = \overline{\theta}_e - \widehat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m}{12}\right)$$

in cui:

τ_m è l'indice mensile quando la temperatura esterna risulta minima.

La quantità del flusso di calore mensile è espressa attraverso la seguente relazione:

$$\Phi(m) = H_g\left(\overline{\theta}_i - \overline{\theta}_e\right) - H_{pi}\widehat{\theta}_i \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m + \alpha}{12}\right) + H_{pe}\widehat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m - \beta}{12}\right)$$

da cui si ottiene il coefficiente termico mensile del terreno:

$$H_g(m) = \frac{\Phi(m)}{\theta_i(m) - \theta_e(m)}$$

Infine lo scambio termico per trasmissione totale attraverso il terreno risulta pari a:

$$Q_{tr,g}(m) = \frac{24}{1000}\Phi(m) \cdot MonthDay(m) \qquad \text{[kWh]}$$

Lo scambio termico per trasmissione è valutato per numerose parti dell'involucro edilizio quali pareti, superfici vetrate, copertura, solai dei piani fuori terra e piano terra.

<u>Pareti</u>

$$A_{lat} = \sum_{dir} A_{lat}(dir)$$

Considerando la superficie totale delle pareti, il coefficiente di scambio termico per trasmissione delle pareti con l'ambiente esterno si calcola nel modo seguente:

$$H_{D,pareti} = U_{pareti} \cdot A_{lat} \cdot k_{D,cor}$$

Lo scambio termico per trasmissione totale delle pareti risulta, dunque, pari alla seguente relazione::

$$Q_{tr,walls}(m) = \frac{H_{D,walls}}{3.6}\left(\overline{\theta}_i - \theta_{ext}(m)\right) \cdot MonthLenght.(m) \qquad \text{[kWh]}$$

<u>Superfici vetrate</u>

Si considerino le seguenti relazioni:

1. $A_{lat,opening} = \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir)$
2. $U_{w+shut,0} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{U_{mean,opening}} + R_{sh} + \Delta R_{avg}}$
3. $U_{w+shut,m}(m) = U_{w+shut,0} \cdot f_{shut}(m) + U_{mean,opening} \cdot (1 - f_{shut}(m))$

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione delle superfici vetrate con l'ambiente esterno si ottiene attraverso la seguente espressione:

$$H_{D,glazing}(m) = \begin{cases} U_{w+shut}(m) \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor} & \textit{se AttivazioneRiscaldamentoNotturno =SI} \\ U_{mean,opening}(m) \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor} & \textit{negli altri casi} \end{cases}$$

Lo scambio termico per trasmissione totale relativo alle superfici vetrate risulta:

$$Q_{tr,glazing}(m) = \frac{H_{D,glazing}(m)}{3.6}\left(\overline{\theta}_i - \theta_{ext}(m)\right) \cdot MonthLenght(m) \qquad \text{[kWh]}$$

<u>Piano fuori terra e piano terra</u>

In relazione ai solai dei piani fuori terra, il coefficiente di scambio termico per trasmissione si determina attraverso la seguente formula:

$$H_{D,ext,floor} = U_{ext,floor} \cdot A_{ext,floor} \cdot k_{D,cor}$$

Lo scambio termico per trasmissione totale dei solai dei piani fuori terra si determina, quindi, con la seguente relazione:

$$Q_{tr,ext,floor}(m) = \frac{H_{D,ext,floor}}{3.6}\left(\overline{\theta}_i - \theta_{ext}(m)\right) \cdot MonthLenght(m) \qquad [\text{kWh}]$$

Lo scambio termico per trasmissione attraverso il terreno risulta:

$$Q_{tr,ground}(m) = Q_{tr,g}(m).k_{D,cor} \qquad [\text{kWh}]$$

<u>Copertura</u>

I coefficienti di scambio termico per trasmissione relativi alla copertura sono definiti con la stessa procedura utilizzata per determinare il valore degli altri coefficienti:

$$H_{D,copertura} = U_{copertura} \cdot A_{copertura} \cdot k_{D,cor}$$

$$H_{D,coperturaspiovente} = U_{slopedcopertura} \cdot A_{slopedcopertura} \cdot b_{tr,U} \cdot k_{D,cor}$$

Le equazioni che definiscono lo scambio termico totale per trasmissione della copertura sono espresse di seguito:

$$Q_{tr,roof}(m) = \frac{H_{D,roof}}{3.6}\left(\overline{\theta}_i - \theta_{ext}(m)\right) \cdot MonthLenght(m) \qquad [\text{kWh}]$$

$$Q_{tr,pichedroof}(m) = \frac{H_{D,pichedroof}}{3.6}\left(\overline{\theta}_i - \theta_{ext}(m)\right) \cdot MonthLenght(m) \qquad [\text{kWh}]$$

Lo scambio termico per trasmissione totale è quindi pari alla somma delle varie aliquote di scambio termico definite in precedenza:

$$Q_{tr}(m) = Q_{tr,walls}(m) + Q_{tr,glazing}(m) + Q_{tr,ext,floor}(m) + Q_{tr,roof}(m) + Q_{tr,ground}(m) + Q_{tr,pichedroof}(m)$$

Lo scambio termico per trasmissione attraverso il terreno e gli spazi non climatizzati sono calcolati attraverso le seguenti relazioni:

$$H_{g,cor}(m) = H_g(m) \cdot k_{D,cor}$$

$$H_u = A_{slopedroof} \cdot U_{uncontitionedarea} \cdot b_{tr,U} \cdot k_{D,cor}$$

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione totale è pari a:

$$H_D(m) = H_{D,walls} + H_{D,glazing}(m) + H_{D,ext,floor} + H_{D,roof}$$

$$H_{tr,adj}(m) = H_D(m) + H_{g,cor}(m) + H_u$$

- **Scambio termico per ventilazione**

Lo scambio termico per ventilazione include le seguenti formule:

1. Flusso d'aria (m^3/s):

$$q_{ve,k} = \frac{AFR_{floor} \cdot h_{floor} \cdot A_{areaclmatizzata}}{3600}$$

2. Fattore di correzione della temperatura:

$$b_{ve,k} = \begin{cases} 1 & \textit{Se Recupero Termico =NO} \\ 1 - \dfrac{\%\,\mathrm{Re}\,cuperoTermico}{100} \cdot \eta_{hru} & \textit{negli altri casi} \end{cases}$$

3. Flusso d'aria medio (m^3/s):

$$q_{ve,k,mm} = q_{ve,k} \cdot f_{ve,t,k}$$

in cui la frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria in un giorno risulta pari alla seguente relazione:

$$f_{ve,t,k} = 1 - \frac{\%\,\mathrm{Re}\,cuperoTermico}{100}$$

Dunque, il coefficiente di scambio termico per ventilazione risulta:

$$H_{ve,adj} = 1200 \cdot b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mm}$$

Lo scambio termico totale per ventilazione è determinato attraverso la seguente relazione:

$$Q_{ve}(m) = \frac{H_{ve,adj}}{3.6}\left(\overline{\theta}_i - \theta_{ext}(m)\right) \cdot MonthLenght(m) \cdot \quad [\mathrm{kWh}]$$

- **Apporti termici interni**

Il calcolo degli apporti termici interni segue lo stesso metodo considerato per determinare il apporti termici relativi alla presenza degli occupanti, ai dispositivi elettrici e al sistema di illuminazione dell'edificio.

È' necessario introdurre alcune variabili intermedie:

$$PartA = A_{area1}\begin{bmatrix} \left|h_{occ,beg,kitch,MtoF,1} - h_{occ,beg,kitch,MtoF,1}\right| \cdot Gain_{occ,kitch,Mto,1} + \\ + \left|h_{occ,beg,kitch,MtoF,2} - h_{occ,beg,kitch,MtoF,2}\right| \cdot Gain_{occ,kitch,Mto,2} + \\ + \left|24 - h_{occ,beg,kitch,MtoF,3} - h_{occ,beg,kitch,MtoF,3}\right| \cdot Gain_{occ,kitch,Mto,3} \end{bmatrix}$$

$$PartB = A_{area2}\begin{bmatrix} \left|h_{occ,beg,other,MtoF,1} - h_{occ,beg,other,MtoF,1}\right| \cdot Gain_{occ,other,Mto,1} + \\ +\left|h_{occ,beg,other,MtoF,2} - h_{occ,beg,other,MtoF,2}\right| \cdot Gain_{occ,otherMto,2} + \\ +\left|24 - h_{occ,beg,other,MtoF,3} - h_{occ,beg,other,MtoF,3}\right| \cdot Gain_{occ,other,Mto,3} \end{bmatrix}$$

$$PartC = A_{area1}\begin{bmatrix} \left|h_{occ,beg,kitch,StoS,1} - h_{occ,end,kitch,StoS,1}\right| \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,1} + \\ +\left|h_{occ,beg,kitch,StoS,2} - h_{occ,end,kitch,StoS,2}\right| \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,2} + \\ +\left|24 - h_{occ,beg,kitch,StoS,3} - h_{occ,beg,kitch,StoS,3}\right| \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,3} \end{bmatrix}$$

$$PartD = A_{area2}\begin{bmatrix} \left|h_{occ,beg,other,StoS,1} - h_{occ,end,other,StoS,1}\right| \cdot Gain_{occ,other,StoS,1} + \\ +\left|h_{occ,beg,other,StoS,2} - h_{occ,end,other,StoS,2}\right| \cdot Gain_{occ,otherStoS,2} + \\ +\left|24 - h_{occ,beg,other,StoS,3} - h_{occ,end,other,StoS,3}\right| \cdot Gain_{occ,other,StoS,3} \end{bmatrix}$$

Dunque l'apporto termico in relazione agli occupanti e alle apparecchiature elettriche si determina secondo l'espressione seguente:

$$\Phi_{\text{int},mm}(m) = \frac{NrGiorniLavorativi(m) \cdot (ParteA + ParteB)}{1000} + \\ + \frac{(GiorniMese(m) - NrGiorniLavorativi(m)) \cdot (ParteC + ParteD)}{1000}$$

Le quantità *Parte A2, Parte B2, Parte C2, Parte D2 sono* colcolate nello stesso modo in cui sono state definite le quantità *ParteA, ParteB, ParteC, ParteD* ma prendono in considerazione i valori relativi al "sistema di illuminazione" invece che quelli relativi alla"occupazionei".

L'apporto termico in relazione al sistema di illuminazione, dunque, risulta pari alla seguente relazione:

$$\Phi_{\text{int},l,mm}(m) = \frac{NrGiorniLavorativi(m) \cdot (ParteA2 + ParteB2)}{1000} + \\ + \frac{(GiorniMese(m) - NrGiorniLavorativi(m)) \cdot (ParteC2 + ParteD2)}{1000}$$

Gli apporti termici totali che derivano dalle sorgenti termiche interne sono infine stimate attraverso la seguente relazione:

[kWh]

$$Q_{\text{int}}(m) = \left(\Phi_{\text{int},mm}(m) + \Phi_{\text{int},l,mm}(m)\right) \cdot k_{cor,\text{int}}$$

- **Apporto termico solare**

Il calcolo dell'apporto termico solare è stimato considerando due termini principali : il primo si focalizza sulle superfici vetrate; il secondo sulle pareti.

<u>Superfici vetrate</u>

La radiazione solare attraverso le superfici vetrate si stima attraverso le seguenti relazioni:

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m,dir) = k_{cor} \cdot A_{lat,opening}(dir) \cdot F_{glazing,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m,dir) \cdot g_n \cdot F_w \cdot$$
$$\cdot \left(1 - FrazioneAreaTelaio\right)$$

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m) = A_{roof,opening} \cdot F_{glazing,sh,roof} \cdot I_{sol,k}(m,dir) \cdot g_n \cdot F_w \cdot \left(1 - PercentualeAreaTelaio\right)$$

La radiazione termica verso il cielo viene calcolata attraverso le relazioni riportate di seguito:

$$\Phi_{r,glazing}(dir) = U_{mean,opening} \cdot R_{se} \cdot A_{lat,opening}(dir) \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,v}$$

$$\Phi_{r,glazing,hor} = U_{mean,opening} \cdot R_{se} \cdot A_{roof,opening} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,v}$$

Dunque il flusso termico dovuto agli apporti termici solari attraverso le superfici vetrate si ottiene come segue:

$$\Phi_{vetrata,sol,mn,k,hor}(m,dir) = F_{vetrata,sh,ok,k} \cdot A_k \cdot I_{sol,k}(m,dir) - \Phi_{r,vetrata}(dir)$$

$$\Phi_{vetrata,sol,mn,k,hor}(m) = F_{vetrata,sh,ok,k} \cdot A_k \cdot I_{sol,k,hor}(m) - \Phi_{r,vetrata,hor}$$

Infine, gli apporti termici solari totali attraverso le superfici vetrate sono calcolati secondo l'espressione riportata di seguito:

$$Q_{sol,vetrata}(m) = \frac{LunghezzaMese(m)}{3.6} \cdot \left[\sum_{dir} \Phi_{vetrata,sol,mn,k}(m,dir) + \Phi_{vetrata,sol,mn,k,hor}(m)\right]$$

[kWh]

<u>Pareti</u>

La radiazione solare attraverso le pareti viene calcolata attraverso le seguenti relazioni:

$$F_{pareti,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m,dir) = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{pareti} \cdot A_{lat}(dir) \cdot F_{vetrata,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m,dir) \cdot k_{cor}$$

$$F_{pareti,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{coperturai} \cdot A_{copertura} \cdot I_{sol,k,copertura}(m)$$

La radiazione verso il cielo si determina come segue:

$$\Phi_{r,pareti}(dir) = U_{pareti} \cdot R_{se} \cdot A_{lat}(dir) \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,v}$$

$$\Phi_{r,pareti,hor} = U_{coperturai} \cdot R_{se} \cdot A_{copertura} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,h}$$

Come per le superfici vetrate, il flusso termico dovuto agli apporti termici i solari attraverso le pareti (il fattore di riduzione di ombreggiamento della parete non è incluso nel calcolo) risulta pari a:

$$\Phi_{pareti,sol,mn,k}(m,dir) = F_{pareti,sh,ok,k} \cdot A_k \cdot I_{sol,k}(m,dir) - \Phi_{r,pareti}(dir)$$

$$\Phi_{pareti,sol,mn,k,hor}(m) = F_{pareti,sh,ok,k} \cdot A_k \cdot I_{sol,k,hor}(m) - \Phi_{r,pareti,hor}$$

Infine, per le superfici vetrate, gli apporti termici solari totali sono pari a:

$$Q_{sol,walls}(m) = \frac{MonthLenght(m)}{3.6} \cdot \left[\sum_{dir} \Phi_{walls,sol,mn,k}(m,dir) + \Phi_{walls,sol,mn,k,hor}(m) \right]$$

[kWh]

- **Scambio termico totale e apporti termici totali**

Lo scambio termico totale(Q_{ht}) e gli apporti termici (Q_{gn}) totali sono calcolati attraverso le seguenti relazioni:

$$Q_{ht}(m) = Q_{tr}(m) + Q_{ve}(m)$$

$$Q_{gn}(m) = Q_{sol,vetrata}(m) + Q_{sol,pareti}(m) + Q_{\text{int}}(m)$$

- **Fabbisogno energetico per il riscaldamento**

L'ultima parte è dedicata al calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento, basato su due sotto-fasi: la stima dei parametri dinamici e la durata mensile di riscaldamento.

<u>Parametri dinamici</u>

Un primo fattore di utilizzazione di scambio termico risulta pari a:

$$\gamma_h(m) = \frac{Q_{gn}(m)}{Q_{ht}(m)}$$

La costante di tempo dell'edificio è definita attraverso la seguente relazione::

$$\tau = \frac{C_m}{3600} \cdot \frac{1}{H_{tr,adj}(1) + H_{ve,adj}},$$

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$$

Un secondo fattore di utilizzazione per l'apporto termico è definito attraverso le seguenti relazioni:

$$\eta_{gn}(m) = \begin{cases} \dfrac{a}{a+1} & \text{se } \gamma_H(m)=1 \\ \dfrac{1}{\gamma_H(m)} & \text{se } \gamma_H(m)<0 \\ \dfrac{1-\gamma_H(m)^a}{1-\gamma_H(m)^{1+a}} & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

<u>Durata mensile del riscaldamento</u>

E' necessario considerare le seguenti espressioni :

1. $\gamma_{\lim} = \dfrac{1+a}{a}$
2. $\gamma_H(m+0.5) = \dfrac{\gamma_H(m) + \gamma_H(m+1)}{2}$
3. $\gamma_H(m-0.5) = \dfrac{\gamma_H(m-1) + \gamma_H(m)}{2}$
4. $\gamma_1(m) = \min(\gamma_H(m-0.5); \gamma_H(m+0.5))$
5. $\gamma_1(m) = \max(\gamma_H(m-0.5); \gamma_H(m+0.5))$
6. $\gamma_{1bool}(m) = \begin{cases} 0 & \text{se } \gamma_1(m)>\gamma_{lim} \text{ oppure } \gamma_1(m)<0 \\ \text{"MENO"} & \text{negli altri casi} \end{cases}$
7. $\gamma_{1bool}(m) = \begin{cases} \text{"PIU'"} & \text{se } \gamma_2(m)>\gamma_{lim} \\ 0 & \text{se } \gamma_2(m)<0 \\ 1 & \text{negli altri casi} \end{cases}$

Inoltre è opportuno definire due quantità intermedie:

1. $$val(m) = \frac{1}{2}\frac{\gamma_{\lim} - \gamma_1(m)}{\gamma_H(m) - \gamma_1(m)}$$

2. $$Interm(m) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\frac{\gamma_{\lim} - \gamma_H(m)}{\gamma_2(m) - \gamma_H(m)}$$

Si definisce anche una condizione che dipende dal valore delle quantità mensili di riscaldamento:

$$cond(m) = \begin{cases} 0 & \text{se } \gamma_{1bool}(m) \neq \text{"MENO"} \\ 1 & \text{se } \gamma_{1bool}(m) \neq \text{"PIU'"} \\ val(m) & \text{se } \gamma_H(m) > \gamma_{lim} \\ Interm(m) & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

Di conseguenza è possibile stimare la variabile finale $\gamma_{cor}(m)$:

$$\gamma_{cor}(m) = \begin{cases} cond(m) & \text{se } \gamma_1(m)>0 \text{ oppure } \gamma_2(m)>0 \\ 0 & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

<u>Fabbisogno energetico per il riscaldamento</u>

$$f_{hr} = \frac{\gamma_{fine,riscaldamneto} - h_{inizio,riscaldamneto}}{24} \cdot \frac{NrGiorniLvaorativi_{riscaldamento}}{7}$$

$$a_{red}(m) = \begin{cases} f_{hr} & \text{se } 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_o \cdot \gamma_H(m)(1 - f_{hr})}{\tau} < f_{hr} \\ 1 & \text{se } 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_o \cdot \gamma_H(m)(1 - f_{hr})}{\tau} > 1 \\ 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_o \cdot \gamma_H(m)(1 - f_{hr})}{\tau} & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

Il fabbisogno energetico mensile (energia sensibile) segue la relazione riportata di seguito:

$$Q_{H,mese}(m) = a_{red}(m) \cdot \max(0; Q_{ht}(m) - \max(0; \eta_{gn}(m)) \cdot \gamma_{cor}(m) \quad \text{[kWh]}$$

Il fabbisogno energetico annuale (energia sensibile) si determina dunque attraverso la seguente relazione:

$$Q_{nd} = \sum_m Q_{mese}(m) \qquad \text{[kWh/anno]}$$

Di conseguenza il fabbisogno energetico annuo (finale o secondario) è definito attraverso la seguente relazione:

$$Q_{risultante} = \begin{cases} 0 & \text{se l'utente ha selezionato l'opzione 'Nessun impianto di riscaldamento'} \\ \dfrac{Q_{nd}}{\eta_{Efficienza\ Sistema}} \left[\dfrac{kWh}{anno}\right] & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

Il fabbisogno di energia primaria annuale associato per il riscaldamento è pari a:

$$Q_{prim} = Q_{risultante} \cdot k_{tipoenergia} \qquad \text{[kgoe/anno]}$$

4.3.2.2.3 Fabbisogno energetico per il raffrescamento e apporti termici solari

Come descritto nel paragrafo 0, la maggior parte delle formule utilizzate per la modalità riscaldamento risulta valida anche per la modalità raffrescamento. In linea con questa considerazione , di seguito si riportano solo le espressioni che variano rispetto alla modalità riscaldamento.

- **Parametri preassegnati**

Il primo passo è l'assegnazione di variabili relative alla modalità raffrescamento:

1. $H_g = H_{g,C}$
2. $H_{pi} = H_{pi,C}$
3. $H_{pe} = H_{pe,C}$
4. $\overline{\theta}_i = \theta_{\text{int},set,C}$
5. $k_{D,cor} = k_{D,cor,C}$
6. $k_{D,cor,ve} = k_{D,cor,ve,C}$
7. $k_{D,cor,\text{int}} = k_{D,cor,\text{int},C}$
8. $k_{cor} = k_{cor,C}$
9. $f_{shut}(m) = 0$
10. $AFR_{floor} = n_C$
11. $a_0 = a_{C0}$
12. $\tau_0 = \tau_{C0}$
13. $b_{red} = b_{C,red}$
14. $\eta_{Efficiency\ System} = \eta_{HeatingEfficiencySystem}$
15. $k_{energytype} = k_{energytype,cooling}$

- **Scambio termico attraverso il terreno**

Per quanto riguarda questa sezione, le equazioni non subiscono alcuna modifica.

- **Scambio termico per trasmissione**

Lo scambio termico per trasmissione delle superfici vetrate con l'ambiente esterno diventa:

$$H_{D,glazing}(m) = U_{mean,opening} \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor}$$

- **Scambio termico per ventilazione**

Le formule, indicate di seguito, risultano semplificate per la modalità raffrescamento:

$$f_{ve,t,k} = 1$$
$$b_{ve,k} = 1$$

- **Apporti termici interni**

Le equazioni restano invariate rispetto alla modalità riscaldamento.

- **Apporti termici solari**

In relazione alle superfici vetrate, le formule per la radiazione solare presentano alcune modifiche rispetto alla modalità raffrescamento, in particolare:

$$F_{C,sh,gl}(m,dir) = 1 - f_{sh,with}(m,dir) + f_{sh,with}(m,dir) \cdot \frac{f_f}{g_n \cdot F_w}$$

$$A_{sol,c}(m,dir) = \begin{cases} F_{C,sh,gl}(m,dir) \cdot g_n \cdot F_w (1 - FrameAreaF\ raction) \\ g_n \cdot F_w (1 - FrameAreaF\ raction) \end{cases}$$

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m,dir) = A_{lat,opening}(dir) \cdot F_{glazing,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m,dir) \cdot$$
$$\cdot A_{sol,k}(m,dir) \cdot K_{cor}$$

- **Scambio termico totale e apporti termici totali**

Le formule risultano uguali a quelle considerate per la modalità riscaldamento.

- **Parametri dinamici**

Il secondo fattore di utilizzazione degli apporti termici è pari alle seguenti relazioni

$$F_{C,sh,gl}(m,dir) = \begin{cases} \dfrac{a}{a+1} & \text{se } \gamma_H(m)=1 \\ 1 & \text{se } \gamma_H(m) < 0 \\ \dfrac{1-\gamma_H(m)^{-a}}{1-\gamma_H(m)^{-(1+a)}} & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

- **Durata mensile di raffrescamento**

L'approccio relativo alla durata mensile di raffresacmento è globalmente lo stesso utilizzato per la modalità riscaldamento, tuttavia le nuove formule associate risultano:

1. $inv\gamma_{\lim} = \dfrac{1+a}{a}$
2. $inv\gamma_H(m) = \dfrac{1}{\gamma_H(m)}$
3. $inv\gamma_H(m+0.5) = \dfrac{inv\gamma_H(m) + \gamma_H(m+1)}{2}$
4. $\gamma_H(m-0.5) = \dfrac{inv\gamma_H(m-1) + inv\gamma_H(m)}{2}$
5. $inv\gamma_1(m) = \min(inv\gamma_H(m-0.5); inv\gamma_H(m+0.5))$
6. $inv\gamma_2(m) = \max(inv\gamma_H(m-0.5); inv\gamma_H(m+0.5))$
7. $inv\gamma_{Ibool}(m) = \begin{cases} 0 & \text{se } inv\gamma_1(m) > inv\gamma_{lim} \\ "MENO" & \text{negli altri casi} \end{cases}$
8. $inv\gamma_{Ibool}(m) = \begin{cases} "PIU'" & \text{se } inv\gamma_2(m) > inv\gamma_{lim} \\ 1 & \text{negli altri casi} \end{cases}$
9. $invval(m) = \dfrac{1}{2}\dfrac{inv\gamma_{\lim} - inv\gamma_1(m)}{inv\gamma_H(m) - inv\gamma_1(m)}$
10. $inv\,\text{int}\,erm(m) = \dfrac{1}{2} + \dfrac{1}{2}\dfrac{inv\gamma_{\lim} - inv\gamma_H(m)}{inv\gamma_2(m) - inv\gamma_H(m)}$

11. $$invcond(m) = \begin{cases} 0 & \text{se } inv\gamma_{1bool}(m) \neq MENO \\ 1 & \text{se } inv\gamma_{2bool}(m) \neq PIU' \\ invval(m) & \text{se } inv\ \gamma_H(m) > inv\gamma_{lim} \\ inv\,\text{int}\,erm(m) & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

12. $$\gamma_{cor}(m) = \begin{cases} invcond(m) & \text{se } inv\gamma_1(m) > 0 \text{ oppure } inv\gamma_2(m) > 0 \\ 1 & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

- **Fabbisogno energetico per il raffrescamento**

In relazione alla durata mensile di raffrescamento, la fase per il calcolo del fabbisogno energetico per raffrescamento deriva da quello del fabbisogno energetico per riscaldamento.
Solo due formule risultano modificate:

$$f_{hr} = \frac{NrGiorniLavorativi_{raffrescamento}}{7}$$

Il fabbisogno energetico mensile (energia sensibile) per il raffrescamento si ottiene attraverso la seguente espressione:

$$Q_{C,mese}(m) = a_{red}(m) \cdot \max(0; Q_{gn}(m) - \max(0; \eta_{gn}) \cdot Q_{ht}(m)) \cdot \gamma_{cor}(m)$$

Il fabbisogno energetico annuale per il raffrescamento segue la relazione riportata di seguito:

$$Q_{risul\tan te} = \begin{cases} 0 & \text{se l'utente ha selezionato l'opzione 'Nessun impianto di raffrescamento'} \\ \dfrac{Q_{nd}}{\eta_{Efficienza\,Sistema}} \left[\dfrac{kWh}{anno}\right] & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

4.3.2.2.4 Fabbisogno energetico per la produzione di ACS

Il primo passo consiste nel computare poche quantità intermedie:

1. $$a = \begin{cases} \dfrac{X \cdot \ln\left(A_{areacliatizzata}\right) - Y}{A_{areacliatizzata}} & \text{se } A_{areaclimatizzata} > 30 \\ Z & \text{negli altri casi} \end{cases}$$

2. $V_w = a \cdot A_{areac\lim atizzta}$

3. $\Delta T_{req} = \theta_{w,t} - \theta_{w,esterno}$

4. $Q_w = \frac{4.182}{3.6} \frac{V_w}{1000} \Delta T_{req} \cdot GiorniMese\,(m)$ [kWh]

Il fabbisogno energetico annuale per la produzione di ACS (energia sensibile) è:

$$Q_{ACS,nd} = \sum_m Q_w(m) \qquad \text{[kWh/anno]}$$

L'energia annuale da considerare (finale o secondaria) per la produzione di ACS è:

$$Q_{ACS,risul\tan te} = \begin{cases} 0 & \textit{se l'utente ha selezionato l'opzione'Nessun impianto di ACS'} \\ Q_{ACS,nd} \dfrac{1 - ACS_{riduzionen\,ergia}}{\eta_{ACS}} \left[\dfrac{kWh}{anno}\right] & \textit{negli altri casi} \end{cases}$$

Di conseguenza, il fabbisogno di energia primaria annuale per la produzione di ACS è:

$$Q_{ACS,prim} = Q_{ACS,risul\tan te} \cdot k_{tipoenergia,ACS} \qquad \text{[kgoe/anno]}$$

4.3.2.3 Modulo C

Le equazioni per la valutazione degli impatti ambientali per il modulo C sono riportate in **Tabella 8**, in cui sono state evidenziate le equazioni modificate o aggiunte nell'ambito del progetto LVS3 In relazione ai parametri aggiunti per il piano terra, risultano modificate le equazioni riportate di seguito. In relazione al trasporto bisogna considerare una parte aggiuntiva:

$$Macro-componente_{C2} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{C2,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{C2,opening} + A_{roof} \cdot k_{C2,roof}$$

Peso totale del calcestruzzo $m_{consl,LVS3}$:

$m_{consl,LVS3} = m_{consl} + D_{concretebasefloor}\, A_{ground} \cdot \rho_{consl}$

Barre per l'armatura all'impianto di separazione dei rifiuti

$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor})\; eol_{srs}\; k_{CHStPlt}$

Barre per l'armatura in discarica:

$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor})\; (1 - eol_{srs})\; k_{CHSt}$

Un'ulteriore aliquota è stata presa in considerazione riguardo al trasporto:

$$Macro-componente_{C4} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{C4,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{C4,opening} + A_{roof} \cdot k_{C4,roof}$$

I valori dei parametri $k_{C2,wall}$, $k_{C4,wall}$, $k_{C2,opening}$ e $k_{C4,opening}$ sono indicati nell'**Appendice 2**

4.3.2.4 Modulo D

Le equazioni per la valutazione degli impatti ambientali per il modulo D sono riportate in **Tabella 9**, in cui sono state evidenziate le equazioni modificate o aggiunte nell'ambito del progetto LVS3:

Modulo C			
Fase di fine vita	**C1 Decostruzione**	Lamiere grecate	$m_{tss}\ k_{StBldgDem}$
		Travi in acciaio	$m_{tsb}\ k_{StBldgDem}$
		Colonne in acciaio	$m_{tsc}\ k_{StBldgDem}$
		Montanti e bulloni in acciaio	$(m_{tst} + m_{tbo})\ k_{StBldgDem}$
		Piastre di connessione	$m_{tpl}\ k_{StBldgDem}$
	C2 Trasporto	Lamiere grecate	$m_{tss}\ k_{RERALT} / 10$
		Travi in acciaio	$m_{tsb}\ k_{RERALT} / 10$
		Colonne in acciaio	$m_{tsc}\ k_{RERALT} / 10$
		Montanti e bulloni in acciaio	$(m_{tst} + m_{tbo})\ k_{RERALT} / 10$
		Piastre di connessione	$m_{tpl}\ k_{RERALT} / 10$
		Travi in legno	$m_{twb}\ k_{RERALT} / 10$
		Colonne in legno	$m_{twc}\ k_{RERALT} / 10$
		Macro-componente	
	C3 Processo per i rifiuti	Cls dei solai all'impianto di separazione rifiuti	$m_{consl}\ eol_{srs}\ k_{Corr}$
		Cls della struttura portante all'impianto di separazione rifiuti	$(m_{tcb} + m_{tcc})\ eol_{srs}\ k_{Corr}$
		Barre per l'armatura all'impianto di separazione rifiuti	$(m_{conrs} + m_{trs})\ eol_{srs}\ k_{CHStPlt}$
	C4 Smaltimento	Lamiere grecate	$m_{tss}\ (1 - eol_{sd})\ k_{RERStLdf}$
		Travi in acciaio	$m_{tsb}\ (1 - eol_{sbc})\ k_{RERStLdf}$
		Colonne in acciaio	$m_{tsc}\ (1 - eol_{sbc})\ k_{RERStLdf}$
		Montanti e bulloni in acciaio	$(m_{tst} + m_{tbo})\ (1 - eol_{stbo})\ k_{RERStLdf}$
		Piastre di connessione	$m_{tpl}\ (1 - eol_{spl})\ k_{RERStLdf}$
		Cls dei solai in discarica	$m_{consl}\ [\ (1 - eol_{srs})\ k_{CHCon} + (eol_{srs} - val_{confl})\ k_{CHConLdf}\ ]$
		Cls della struttura portante in discarica	$(m_{tcb} + m_{tcc})\ [\ (1 - eol_{srs})\ k_{CHCon} + (eol_{srs} - val_{const})\ k_{CHConLdf}\ ]$
		Barre in discarica	$(m_{conrs} + m_{trs})\ (1 - eol_{srs})\ k_{CHSt}$

		Travi in legno	m_{twb} (inc_w k_{EUWWa} + (1 - inc_w) k_{EUWLdf})
		Colonne in legno	m_{twc} (inc_w k_{EUWWa} + (1 - inc_w) k_{EUWLdf})
		Macro-componente	
Totale Modulo C			Somma di tutte le quantità analizzate nel modulo C

Tabella 8: impatti ambientali per il modulo C

Modulo D			
Benefici e carichi al fuori dei confini del sistema	**D Benefici**	Cls dei solai	- m_{consl} val_{confl} k_{CHGr}
		Lamiere grecate	- m_{tss} (eol_{sd} - $k_{RERStHDG0}$) k_{GLO}
		Cls della struttura portante	- (m_{tcb} + m_{tcc}) val_{const} k_{CHGr}
		Armatura in acciaio	- (m_{conrs} + m_{trs}) (eol_{srs} - k_{GLOSt0})
		Travi in acciaio	- m_{tsb} [(eol_{sbc} - $k_{RERStSec0}$) k_{GLO} + re_{sbc} ($k_{RERStSec}$ - k_{StAvg} / 1000)]
		Colonne in acciaio	- m_{tsc} [(eol_{sbc} - $k_{RERStHDG0}$) k_{GLO} + re_{sbc} ($k_{RERStSec}$ - k_{StAvg} / 1000)]
		Montanti e bulloni in acciaio	- (m_{tst} + m_{tbo}) (eol_{stbo} - k_{GLOSt0}) k_{GLO}
		Piastre di connessione	- m_{tpl} (eol_{spl} - $k_{RERStPl0}$) k_{GLO}
		Travi in legno	- m_{twb} (inc_w k_{Wa} + (1 - inc_w) k_{EOR} k_{EUElec} / 3.6)
		Colonne in legno	- m_{twc} (inc_w k_{Wa} + (1 - inc_w) k_{EOR} k_{EUElec} / 3.6)
		Macro-componente	
Totale Modulo D			Somma di tutte le quantità analizzate nel modulo D

Tabella 9: impatti ambientali per il modulo D

In relazione ai parametri aggiunti per il piano terra, sono state apportate modifiche alle seguenti equazioni:

- Peso totale del cls $m_{consl,LVS3}$:

  $$m_{consl,LVS3} = m_{consl} + D_{concretebasefloor} A_{ground} \cdot \rho_{consl}$$

- Impatto dell'armatura in acciaio:

  $$- (m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) (eol_{srs} - k_{GLOSt0})$$

Riguardo al trasporto, si considera un'ulteriore aliquota, espressa attraverso le seguenti relazioni:

$$Macro-componente_D = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{D,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{D,opening}$$

$$Macro-componente_D = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{D,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{D,opening} + A_{roof} \cdot k_{D,roof}$$

I valori dei parametri $k_{D,wall}$, $k_{D,wall}$, $k_{D,opening}$ e $k_{D,opening}$ sono indicati nell'**Allegato 4.**

5 RISULTATI OTTENUTI DAL SOFTWARE

I risultati di AMECO saranno mostrati nella scheda Risultati, secondo la tipologia scelta dall'utente tra le seguenti opzioni:

- Foglio di calcolo.
- Istogramma o tabella per gli impatti selezionati. In particolare l'istogramma permette di distinguere i Moduli A, C, D e anche il risultato totale dal Modulo A al Modulo C e dal Modulo A al Modulo D.
- Grafico radiale che sintetizza il risultato totale dal Modulo A al Modulo C e dal Modulo A al Modulo D con riferimento a tutti gli impatti.

I risultati dettagliati in relazione alla fase d'uso saranno mostrati in schede dedicate nel foglio di calcolo, seguendo la descrizione riportata nel paragrafo 5.1. I risultati relativi agli impatti saranno mostrati sia nel foglio di calcolo che nell'interfaccia dei grafici.

5.1 Risultati parziali per la fase d'uso

Le tabelle con i risultati relativi alla fase d'uso saranno mostrati nel foglio di calcolo; in particolare faranno riferimento al fabbisogno energetico per l'ambiente riscaldamento, al fabbisogno energetico per l'ambiente raffrescamento, al fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria ACS, alla somma dell'energia totale ed infine agli apporti termici solari. La formattazione dei grafici si basa su un file excel fornito dall'Università di Coimbra, come illustrato nei successivi paragrafi.

5.1.1 Fabbisogno energetico per il riscaldamento ambiente

In relazione allo scambio termico per trasmissione, le quantità totali si ricavano attraverso le seguenti espressioni:

$$Q_{tr,walls} = \sum_m \max\left(Q_{tr,walls}(m), 0\right)$$

$$Q_{tr,glazing} = \sum_m \max\left(Q_{tr,glazing}(m), 0\right)$$

$$Q_{tr,ext,floor} = \sum_m \max\left(Q_{tr,ext,floor}(m), 0\right)$$

$$Q_{tr,roof} = \sum_m \max\left(Q_{tr,roof}(m), 0\right) + \max\left(Q_{tr,spioventeroof}(m), 0\right)$$

$$Q_{tr,ground} = \sum_m \max\left(Q_{tr,ground}(m), 0\right)$$

$$Q_{tr,total} = \sum_m \max\left(Q_{tr}(m), 0\right)$$

In relazione allo scambio termico per ventilazione e agli apporti termici solari ed interni, le quantità totali si ricavano attraverso le seguenti espressioni:

$$Q_{ve} = \sum_m \max\left(Q_{ve}(m),0\right)$$

$$Q_{sol,gl} = \sum_m \max\left(Q_{sol,glazing}(m),0\right)$$

$$Q_{sol,opaque} = \sum_m \max\left(Q_{sol,walls}(m),0\right)$$

$$Q_{\text{int}} = \sum_m Q_{\text{int}}(m)$$

Inoltre, i dati relativi al'abbattimento dei consumi di energia dello scambio termico per trasmissione e per ventilazione sono illustrati in un istogramma a barre. Oltre a questi contributi della prestazione energetica, viene mostrato anche il fabbisogno energetico mensile per il riscaldamento ambiente e le quantità globali associate. Inoltre si procede anche al calcolo dei valori per metro quadro dell'area non climatizzata (Figura 2).

ENERGY FOR SPACE HEATING											Heating season length:	4.5
HEAT TRANSFER BY TRANSMISSION							HEAT TRANSFER BY VENTILATION			HEAT GAINS		
										GLAZED	OPAQUE	INTERNAL
$Q_{tr,WALLS}$	$Q_{tr,GLAZING}$	$Q_{tr,EXT\ FLOOR}$	$Q_{tr,ROOF}$	$Q_{tr,GROUND}$	$Q_{tr,TOTAL}$		Q_{ve}			$Q_{sol,GLAZ}$	$Q_{sol,OPAQ}$	Q_{int}
2395.1	4373.4	321.2	0.0	782.0	9038.0	kWh/year	2849.2	kWh/year	kWh/year	17162.7	470.0	6679.3

ENERGY NEED FOR HEATING												
$Q_{H,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	211.5	140.5	52.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.7	178.3
kWh/m^2	1.7	1.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.4

ENERGY BREAKDOWNS							
BUILDING TOTALS FOR HEATING							
ENERGY NEED	681.8	kWh/year					
	5.5	kWh/m^2/year					
DELIVERED ENERGY		170.4	kWh/yea	PRIMARY		49.4	kgoe/yea
COP:	4	1.4	kWh/m^2/	f_{conv}:	0.29	0.4	kgoe/m^2/

Figura 2: Risultati del calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento ambiente

5.1.2 Fabbisogno energetico per raffrescamento ambiente

Poiché le stesse quantità sono computate sia per la modalità di riscaldamento che per quella di raffrescamento, i risultati sono mostrati allo stesso modo (Figura 3).

ENERGY FOR SPACE COOLING												Cooling season length:	5.2
HEAT TRANSFER BY TRANSMISSION							HEAT TRANSFER BY VENTILATION			HEAT GAINS			
										GLAZED	OPAQUE	INTERNAL	
$Q_{tr,WALLS}$	$Q_{tr,GLAZING}$	$Q_{tr,EXT\ FLOOR}$	$Q_{tr,ROOF}$	$Q_{tr,GROUND}$	$Q_{tr,TOTAL}$		Q_{ve}			Q_{sol}	Q_{sol}	Q_{int}	
4278.0	9914.4	573.8	0.0	1458.3	18460.5	kWh/year	10517.4	kWh/year	kWh/year	8836.4	565.1	7547.6	

ENERGY NEED FOR COOLING												
$Q_{C,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	0.0	0.0	0.0	0.0	334.1	676.9	853.7	717.0	578.4	78.9	0.0	0.0
kWh/m^2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	5.5	6.9	5.8	4.7	0.6	0.0	0.0

BUILDING TOTALS FOR COOLING		
ENERGY NEED	3239.1	kWh/year
	26.2	kWh/m^2/year

DELIVERED ENERGY		1079.7	kWh/yea
COP:	3	8.7	kWh/m^2/

PRIMARY		313.1	kgoe/yea
f_{conv}:	0.29	2.5	kgoe/m^2/

Figura 3: Risultati del calcolo del fabbisogno energetico per il raffrescamento ambiente

5.1.3 Fabbisogno energetico per la produzione di ACS

In relazione alla produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS), si fa riferimento solo al valore del fabbisogno energetico mensile e a quello annuale associato come mostrato in Figura 4.

ENERGY NEED FOR DWH PRODUCTION												
$Q_{C,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	217.8	203.3	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1
kWh/m^2	1.8	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

BUILDING TOTALS FOR DHW PRODUCTION		
ENERGY NEED	2642.6	kWh/year
	21.3	kWh/m^2/year

DELIVERED ENERGY		2936.3	kWh/yea
η:	0.90	23.7	kWh/m^2/

PRIMARY ENERGY		851.5	kgoe/year
f_{conv}:	0.29	6.9	kgoe/m^2/year

Figura 4: Risultati del calcolo del fabbisogno energetico per la produzione di ACS

5.1.4 Quantità totali di energia

Una parte della scheda relativa ai risultati è dedicata ai valori totali, calcolati come riportato di seguito:

$$Q_{H+C,nd} = Q_{H,month}(m) + Q_{C,month}(m)$$

$$Q_{H+C,nd} = Q_{H,month}(m) + Q_{C,month}(m) + Q_{ACS,month}(m)$$

Il fabbisogno energetico totale annuo è pari alla somma del fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento ambiente, del fabbisogno energetico annuo per il raffrescamento ambiente e del fabbisogno energetico annuo per la produzione di ACS (Figura 5).

ENERGY TOTALS (DHW + HEATING + COOLING)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{H+C,nd}$ (kWh)	211.5	140.5	52.7	0.0	334.1	676.9	853.7	717.0	578.4	78.9	98.7	178.3
$Q_{T,nd}$ (kWh)	429.3	343.8	277.7	217.8	559.2	894.7	1078.8	942.0	796.2	304.0	316.5	403.4
$Q_{DHW,nd}$ (kWh)	217.8	203.3	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1

BUILDING TOTALS PER YEAR		
TOTAL ENERGY NEED	6563.5	kWh/year
	53.0	kWh/m^2/year

TOTAL DELIVERED ENERGY	4186.4	kWh/yea
	33.8	kWh/m^2/

TOTAL PRIMARY ENERGY	1214.1	kgoe/year
	9.8	kgoe/m^2/year

Figura 5: Risultati relativi alle quantità totali di energia

5.1.5 Apporti termici solari

Gli apporti termici solari mensili per le superfici vetrate e le pareti sono richiamati in due tabelle (Figura 6).

SOLAR HEAT GAINS

HEATING MODE

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{sol,GLAZED}$ (kWh)	1121.8	1069.1	1554.4	1673.5	1671.9	1712.5	1770.3	1803.8	1589.4	1393.5	918.3	884.1
$Q_{sol,OPAQUE}$ (kWh)	-10.1	0.9	39.1	64.5	73.7	89.7	94.7	86.5	51.9	21.1	-16.6	-25.3

COOLING MODE

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{sol,GLAZED}$ (kWh)	435.2	559.9	736.4	846.6	1066.5	1037.3	991.2	803.3	738.7	614.1	524.0	483.0
$Q_{sol,OPAQUE}$ (kWh)	-4.4	6.5	47.4	73.8	83.3	99.9	105.2	96.9	60.6	28.5	-11.9	-20.8

Figura 6: Risultati del calcolo degli apporti termici solari

5.2 Risultato globale per la fase d'uso

Lo scopo di AMECO è la valutazione degli impatti ambientali, perciò i risultati dettagliati relativi alla fase d'uso devono essere valutati in termini di impatti. Al fine di soddisfare tale scopo, la procedura descritta di seguito è utilizzata per ognuno dei 24 impatti considerati nel software:

$$ModuloB_{impatto} = Q_{heating,delivered} \cdot k_{heating} + Q_{cooling,delivered} \cdot k_{cooling} + Q_{ACS,delivered} \cdot k_{ACS}$$

in cui

$k_{heating}$, $k_{cooling}$, k_{ACS} dipendono dal tipo di energia e di impatto in accordo ai valori riportati di seguito (**Tabella 10**).

Sigla	Denominazione	Elettricità	Gas	Liquido	Solido	Bio-massa	Unità
Impatti ambientali							
GWP	Potenziale di Riscaldamento Globale	4.82E-01	4.84E-01	4.33E-01	2.92E-01	0	tCO2eq
ODP	Potenziale di Riduzione di Ozono	4.32E-10	7.97E-11	3.11E-11	3.02E-11	0	t_{CFCeq}
AP	Potenziale di Acidificazione	2.28E-03	1.61E-03	2.95E-03	1.34E-03	0	t_{SO2eq}
EP	Potenziale di Eutrofizzazione	1.20E-04	7.85E-05	1.46E-04	1.70E-04	0	t_{PO4eq}
POCP	Potenziale di Formazione di Ozono Fotochimico	1.34E-04	3.49E-04	4.41E-04	1.43E-04	0	$t_{Etheneeq}$
ADP-e	Potenziale di Degrado Abiotico – elementi	6.63E-08	1.18E-07	1.04E-07	5.01E-09	0	t_{Sbeq}
ADP-ff	Potenziale di Degrado Abiotico– fossili	8.48E+00	5.02E+01	5.07E+01	2.79E+01	0	GJ NCV

Uso delle risorse, materiali e fossili secondari							
RPE	Uso di energia primaria rinnovabile ad esclusione delle risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime	1.41E+00	2.41E-01	8.53E-02	5.72E-02	0	GJ NCV
RER	Uso delle risorse di energia rinnovabile utilizzate come materie prime	0	0	0	0	0	GJ NCV
RPE-totale	Uso totale di energia primaria rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria usate come materie prime)	1.41E+00	2.41E-01	8.53E-02	5.72E-02	0	GJ NCV
Non-RPE	Uso di energia primaria non rinnovabile ad esclusione delle risorse di energia primaria non rinnovabile utilizzate come materie prime	4.90E+00	5.05E+00	8.06E+00	1.28E+00	0	GJ NCV

Uso delle risorse, materiali e fossili secondari							
Non-RER	Uso di risorse di energia primaria non rinnovabile utilizzate come materie prime	3.60E+00	4.52E+01	4.26E+01	2.66E+01	0	GJ NCV
Non-RPE-total	Uso totale di energia primaria non rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria utilizzate come materie prime)	8.50E+00	5.03E+01	5.07E+01	2.79E+01	0	GJ NCV
SM	Uso di materiali secondari	0	0	0	0	0	t
RSF	Uso di fossili secondari rinnovabili	1.73E-04	3.37E-04	2.97E-04	1.53E-05	0	GJ NCV
Non-RSF	Uso di fossili secondari non rinnovabili	1.82E-03	3.54E-03	3.13E-03	1.60E-04	0	GJ NCV
NFW	Uso di acqua da rete idrica	1.84E+00	3.12E-01	1.36E-01	6.88E-02	0	10^3m^3

Altri indicatori ambientali che descrivono le categorie di rifiuti							
HWD	Rifiuti pericolosi smaltiti	0	0	0	0	0	t
Non-HWD	Rifiuti non pericolosi smaltiti	1.92E+00	3.32E-01	1.10E-01	4.94E+00	0	t
RWD	Rifiuti radioattivi smaltiti	1.25E-03	2.07E-04	6.31E-05	2.47E-05	0	t

Altri indicatori ambientali che descrivono i flussi in uscita							
CR	Componenti per il riuso	0	0	0	0	0	t
MR	Materiai per il riciclo	0	0	0	0	0	t
MER	Materiali per il recupero di energia	0	0	0	0	0	t
EE	Energia esportata	0	0	0	0	0	t

Tabella 10: coefficienti degli impatti in relazione alla fase d'uso

6 GUIDA D'USO DEL SOFTWARE AMECO3

Il software AMECO 3 permette di calcolare gli impatti ambientali per diverse tipologie di edificio e di ponte. In riferimento alle applicazioni relative agli edifici, questo strumento consente anche il calcolo dell'energia utilizzata durante la fase d'uso del ciclo di vita dell'edificio, includendo il riscaldamento, il raffrescamento e i consumi energetici per la produzione di acqua calda sanitaria.
La presente sezione ha lo scopo di evidenziare i miglioramenti e gli aggiornamenti del software apportati nell'ambito del progetto LVS³, in relazione alle analisi dell'*Edificio.*
Vari moduli sono disponibili per l'inserimento i parametri che possono essere selezionati attraverso la barra degli strumenti 'Studio' e mostrati nell'area di lavoro. Per lo studio completo di un edificio, includendo la fase d'uso, i moduli da considerare sono i seguenti:

- Progetto
- Edificio
- Involucro
- Piano terra
- Copertura
- Occupazione
- Impianti
- Struttura
- Solai
- Trasporto
- Risultati

Nel caso in cui il campo corrispondente all'opzione "Solo struttura" è selezionato su "Si", risulteranno disponibili solo i moduli seguenti:

- Progetto
- Edificio
- Struttura
- Solai
- Trasprto
- Risultati

L'utente ha la facoltà di scegliere lo scopo del calcolo attraverso il modulo "Edificio".

6.1 Progetto

In questo modulo devono essere definiti alcuni parametri opzionali per identificare il progetto (Figura 7). Questi parametri sono utilizzati per la definizione del foglio di calcolo, ma i campi da compilare possono anche restare vuoti senza compromettere i calcoli. I cinque parametri opzionali relativi a tale modulo sono i seguenti:

- Nome del progetto
- Nome dell'edificio
- Azienda incaricata dello studio
- Nome dell'utente
- Commento

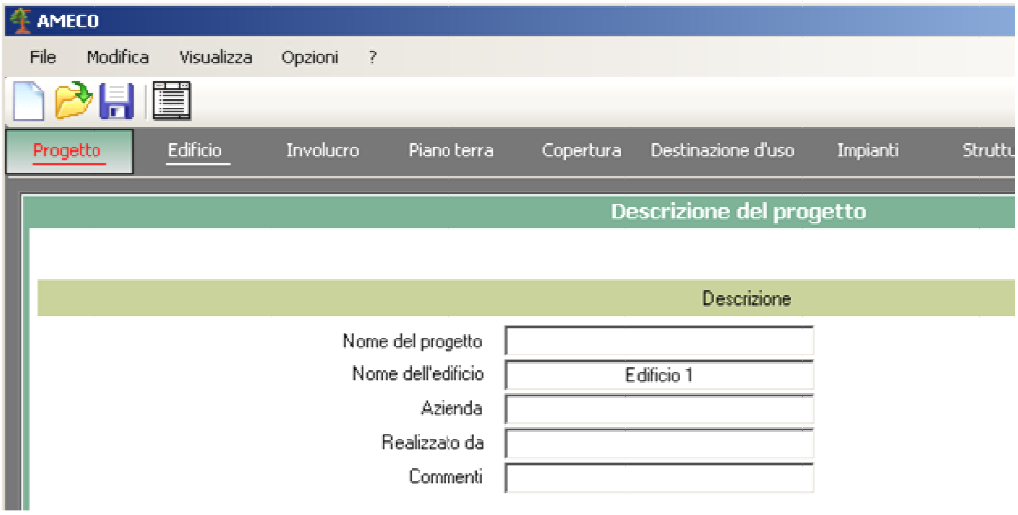


Figura 7: definizione del progetto

6.2 Edificio

6.2.1 Parametri generali

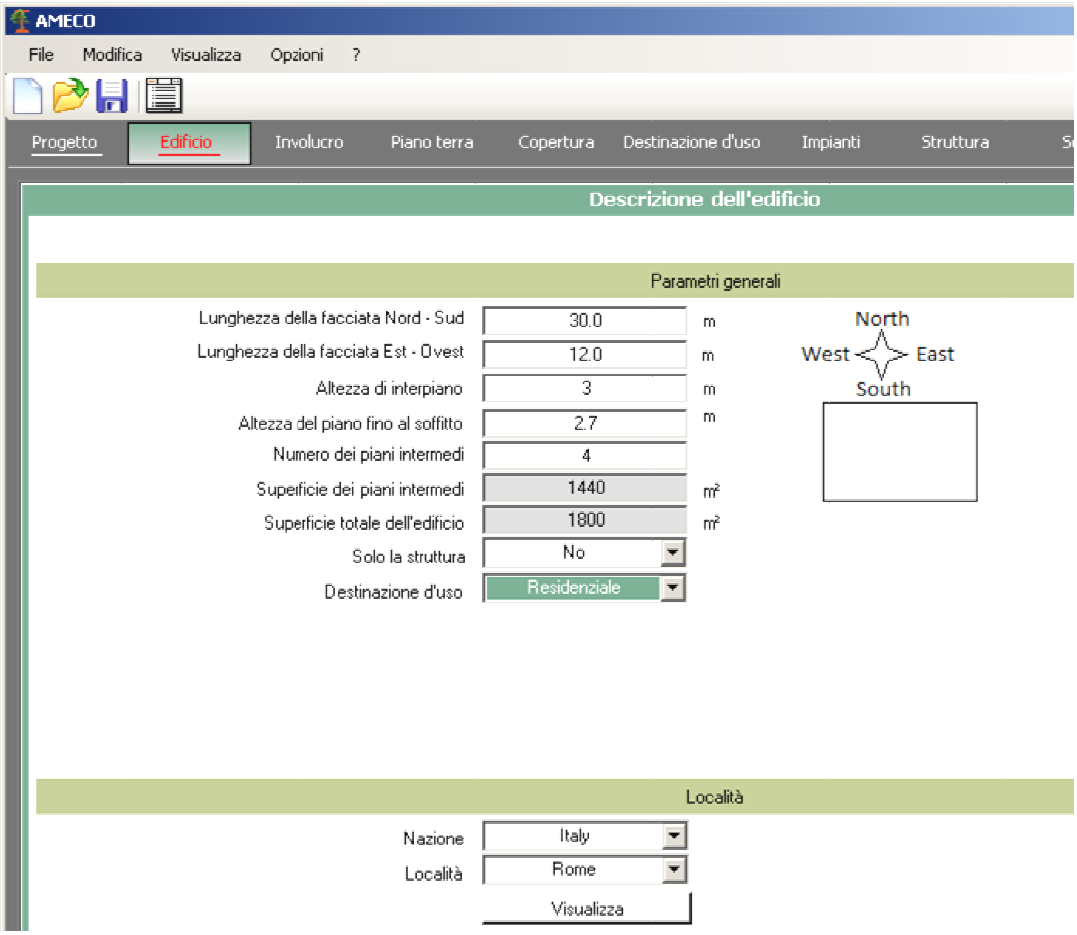


Figura 8: caratteristiche principali dell'edificio, incluso il calcolo della fase d'uso

Nel modulo “Edificio” l’utente definisce i seguenti parametri dell’edificio (Figura 8):

- lunghezza della facciata nord - sud l_b;
- lunghezza della facciata est -ovest w_b;
  La definizione di queste dimensioni permette di considerare l’orientamento dell’edificio, tuttavia in AMECO 3 può essere introdotto solo un edificio di forma rettangolare (Figura 9).

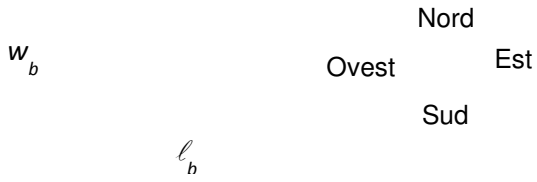


Figura 9: forma dell’edificio

- altezza interpiano;
- numero dei piani intermedi n;
- superficie totale dei piani intermedi, calcolata attraverso i parametri appena definiti. Il calcolo si basa sulla relazione $a_{def,floors} = n\ \ell_b\ w_b$, assumendo la stessa area per ogni piano. In particolare tale valore esclude l’area del piano terra;
- superficie totale dell’edificio, calcolata considerando N+1 piani (area del piano terra inclusa);
- lo scopo del calcolo attraverso il campo “Solo struttura”.
  Questo ultimo campo permette all’utente di non considerare i calcoli relativi ai consumi energetici se si sceglie l’opzione “Si” (Figura 10). In questo modo il calcolo terrà conto solo degli impatti ambientali dovuti ai materiali usati per la costruzione della struttura portante quali travi principali, colonne, solai e dei corrispondenti impatti dovuti al trasporto.

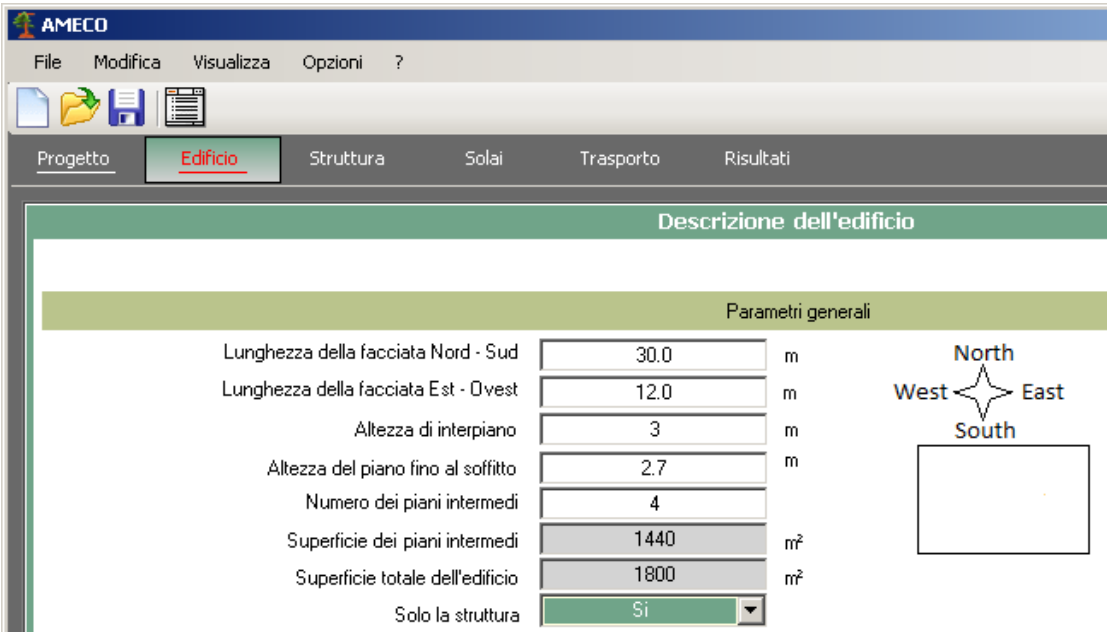


Figura 10: caratteristiche principali dell’edificio, in cui è escluso il calcolo relativo alla fase d’uso

Se l'utente nel campo "Solo struttura" seleziona l'opzione "No", saranno mostrati dei moduli complementari relativi alla definizione dei parametri richiesti per il calcolo dell'energia d'uso dell'edificio. Se si decide di includere la fase d'uso nei calcoli, il primo campo complementare che appare è "occupazione";
La tipologia di edificio può essere selezionata dall'elenco a tendina (menu scorrevole), scegliendo tra le seguenti opzioni (Figura 11):

- Residenziale
- Uffici
- Commerciale
- Industriale

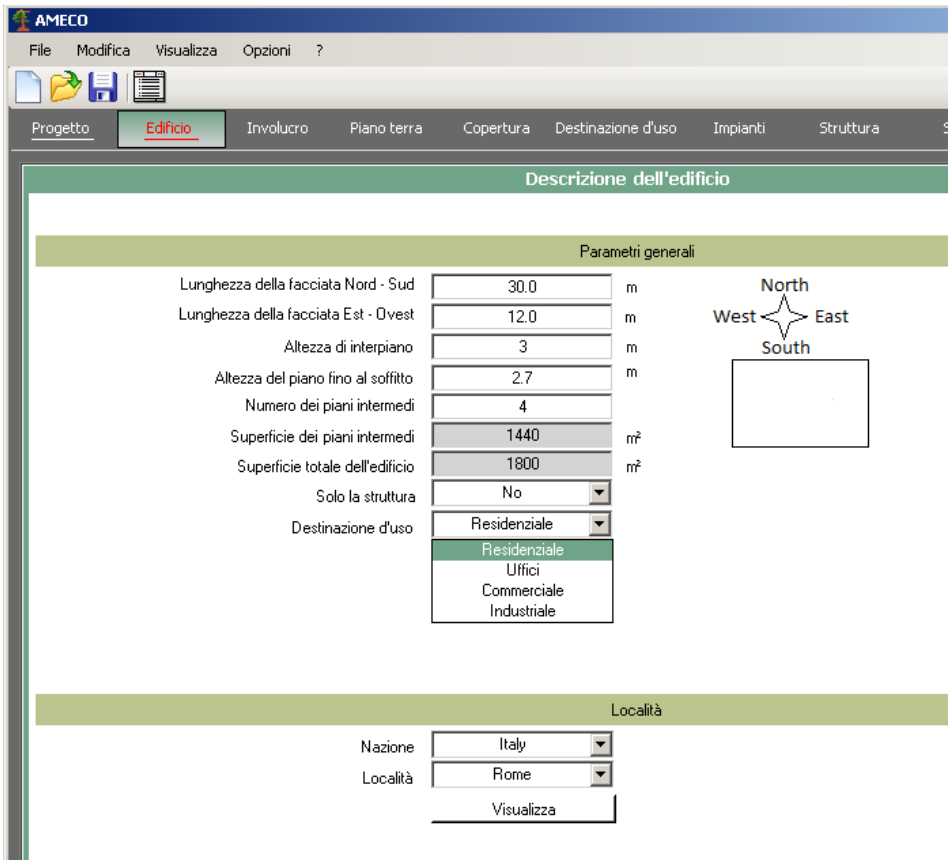


Figura 11: selezione della tipologia di edificio

La differente tipologia di edificio influisce solo sul calcolo della fase d'uso, in quanto i consumi variano in relazione agli utenti dell'edificio. Ad esempio, il sistema di illuminazione produce una quantità di energia termica superiore negli uffici rispetto alle altre tipologie di edificio che può comportare un potenziale aumento della domanda di raffrescamento. In relazione ad ogni tipologia di edificio si definisce uno scenario d'uso specifico, che fa riferimento al numero di occupanti, al sistema di illuminazione e alla posizione degli ambienti con differenti funzioni all'interno di uno stesso edificio, espresse come una percentuale della superficie totale del piano. I dettagli dello scenario d'uso corrispondente ad ogni tipologia di edificio sono mostrati nei capitoli successivi del presente volume.

6.2.2 Località

Nella parte inferiore della sezione “Edificio”, l’utente definisce la posizione geografica dell’edificio (Figura 12 e Figura 13), selezionando la nazione e una città corrispondente. In AMECO 3 è possibile scegliere tra 23 nazioni e 48 città, come mostrato di seguito:

Nazione	Città	Nazione	Città
Austria	Vienna, Graz	Polonia	Varsavia
Belarus	Minsk	Portogallo	Lisbona, Porto, Coimbra
Belgio	Brussells	Romania	Bucarest, Timisoara
Rep. Ceca	Praga	Russia	Mosca, Arhanglesk
Inghilterra	Londra	Slovacchia	Bratislava
Finlandia	Helsinki, Tampere	Slovenia	Ljubljana
Francia	Nantes, Parigi, Montpellier, Marsiglia, Nizza	Spagna	Madrid, Barcellona, Siviglia, La Coruna, Salamanca, Vigo, Bilbao
Germania	Berlino, Monaco, Amburgo	Svezia	Stoccolma, Kiruna, Ostersund
Grecia	Thessaloniki, Atene	Svizzera	Zurigo
Italia	Milano, Roma, Sanremo, Genova	Turchia	Istambul, Ankara
Olanda	Amsterdam	Ucraina	Kiev
Norvegia	Oslo		

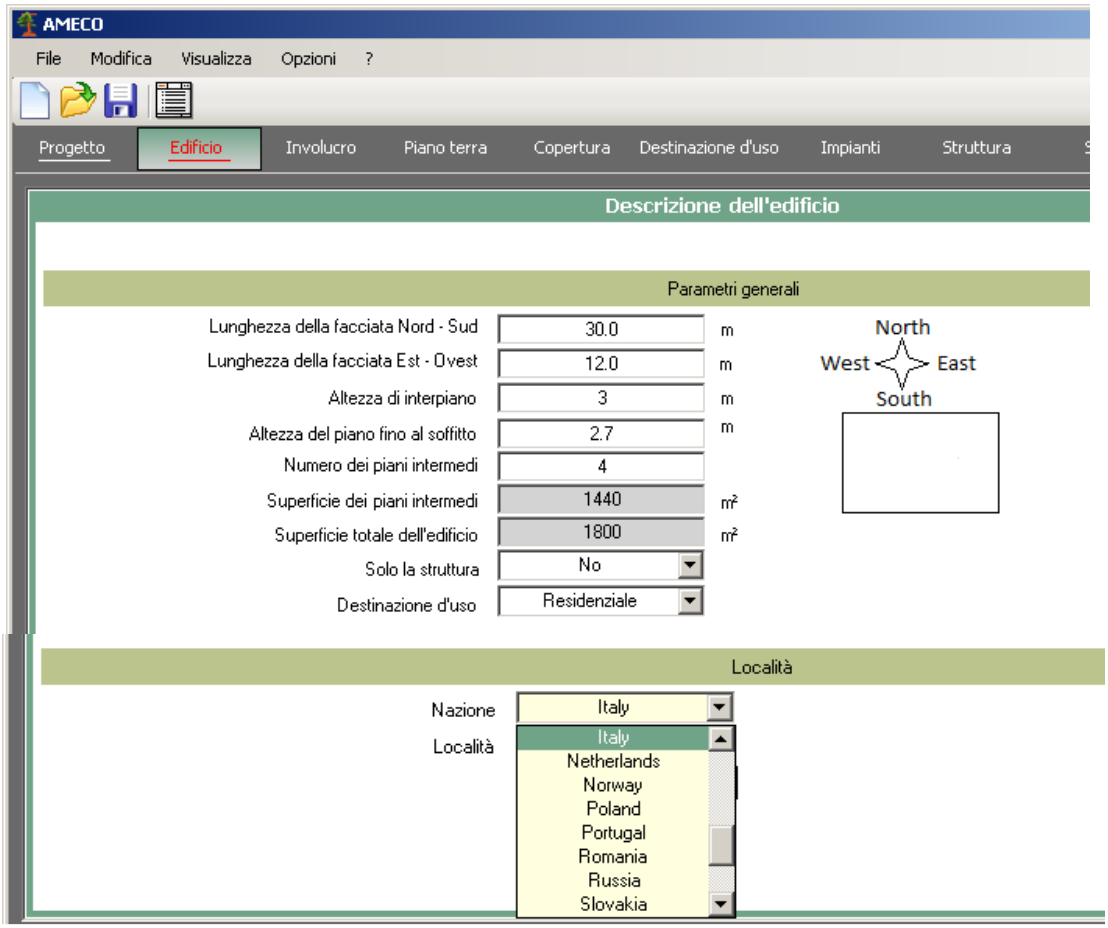


Figura 12: Selezione della nazione

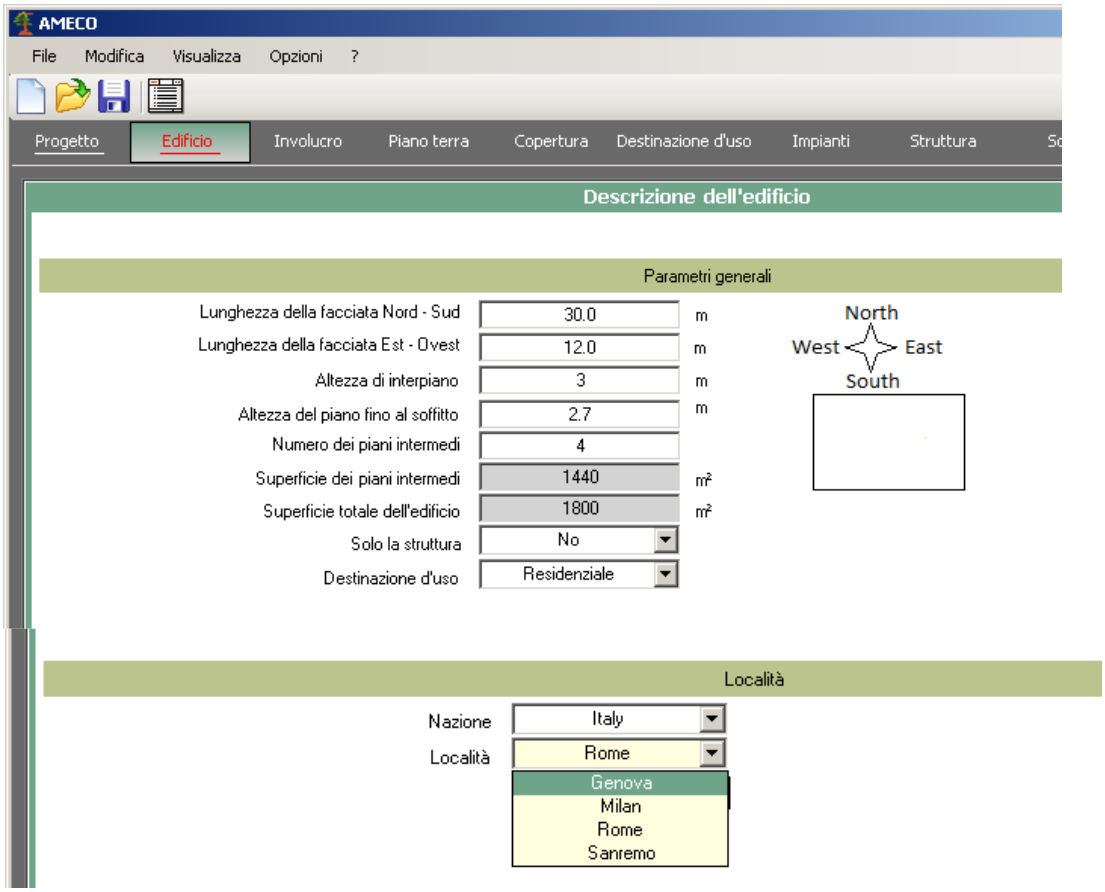
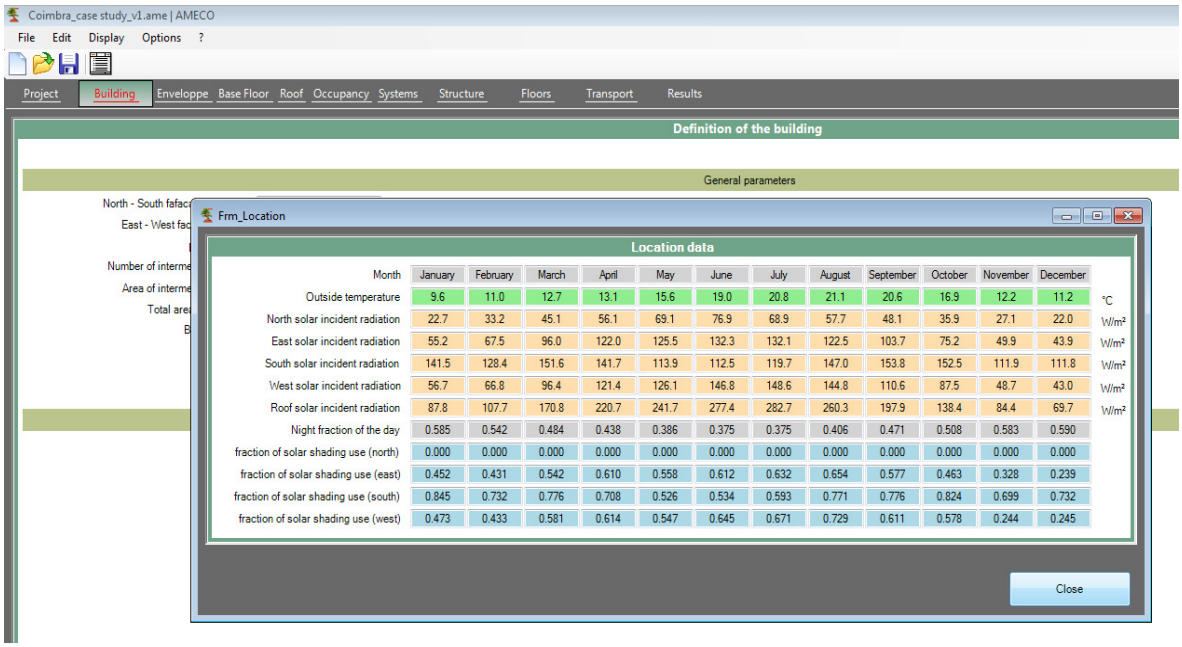


Figura 13: Selezione della città corrispondente

Cliccando su "Visualizza", l'utente ha la possibilità di visualizzare i dati climatici relativi alla località selezionata (Figura 14):



Month	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
Outside temperature	9.6	11.0	12.7	13.1	15.6	19.0	20.8	21.1	20.6	16.9	12.2	11.2	°C
North solar incident radiation	22.7	33.2	45.1	56.1	69.1	76.9	68.9	57.7	48.1	35.9	27.1	22.0	W/m²
East solar incident radiation	55.2	67.5	96.0	122.0	125.5	132.3	132.1	122.5	103.7	75.2	49.9	43.9	W/m²
South solar incident radiation	141.5	128.4	151.6	141.7	113.9	112.5	119.7	147.0	153.8	152.5	111.9	111.8	W/m²
West solar incident radiation	56.7	66.8	96.4	121.4	126.1	146.8	148.6	144.8	110.6	87.5	48.7	43.0	W/m²
Roof solar incident radiation	87.8	107.7	170.8	220.7	241.7	277.4	282.7	260.3	197.9	138.4	84.4	69.7	W/m²
Night fraction of the day	0.585	0.542	0.484	0.438	0.386	0.375	0.375	0.406	0.471	0.508	0.583	0.590	
fraction of solar shading use (north)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
fraction of solar shading use (east)	0.452	0.431	0.542	0.610	0.558	0.612	0.632	0.654	0.577	0.463	0.328	0.239	
fraction of solar shading use (south)	0.845	0.732	0.776	0.708	0.526	0.534	0.593	0.771	0.776	0.824	0.699	0.732	
fraction of solar shading use (west)	0.473	0.433	0.581	0.614	0.547	0.645	0.671	0.729	0.611	0.578	0.244	0.245	

Figura 14: Dati relativi alla posizione geografica

6.2.3 Involucro

Nella parte superiore della sezione relativa all'"Involucro"(Figura 15), l'utente ha accesso alle caratteristiche della facciata, riportate di seguito:

- le superfici delle pareti, calcolate automaticamente per ogni orientamento, sono ottenute moltiplicando la lunghezza per l'altezza dell'edificio;
- le superfici delle aperture per ogni orientamento sono definite come una percentuale dell'area totale della facciata.

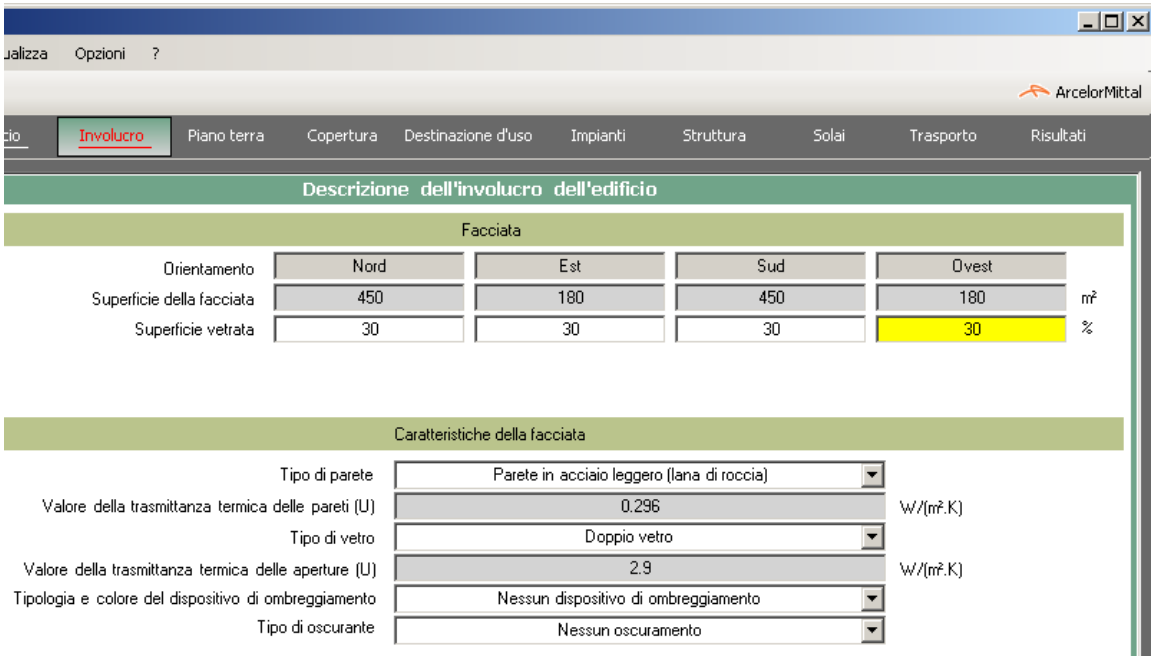


Figura 15: descrizione dell'involucro

Nella parte inferiore della sezione "Involucro", le proprietà della facciata sono definite come segue:

- il tipo di parete che indica la composizione della facciata.
  In AMECO 3 sono definite tre tipologie principali di parete (Figura 16):
  1. Parete con pannelli in acciaio leggero;
  2. Parete a doppia fodera in laterizio;
  3. Pannello sandwich.

  Le tipologie di parete con pannelli in acciaio leggero e a doppia fodera in laterizio sono disponibili con diversi tipi di materiale isolante (Figura 17):

  - Lana di roccia;
  - EPS (polistirene espanso);
  - XPS (polistirene estruso);
  - PUR (poliuretano).

  I pannelli sandwich sono caratterizzati dall'uso di poliuretano con due diversi spessori: 80mm e 200 mm.

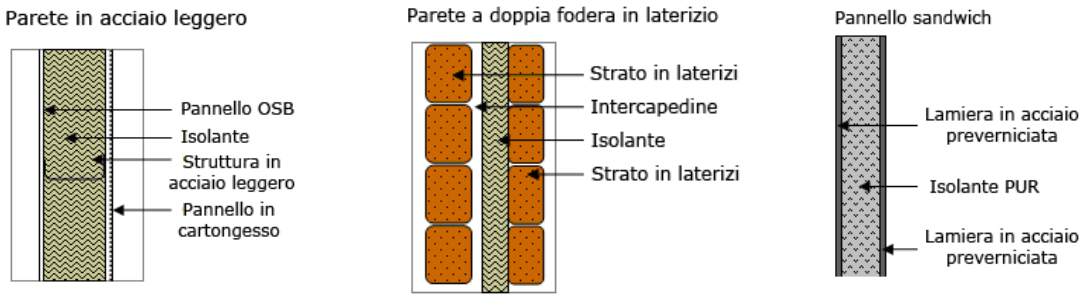


Figura 16: schemi e descrizione delle componenti delle pareti, disponibili in AMECO 3

Gli impatti ambientali corrispondenti per le configurazioni delle pareti sono descritte nel documento di base.

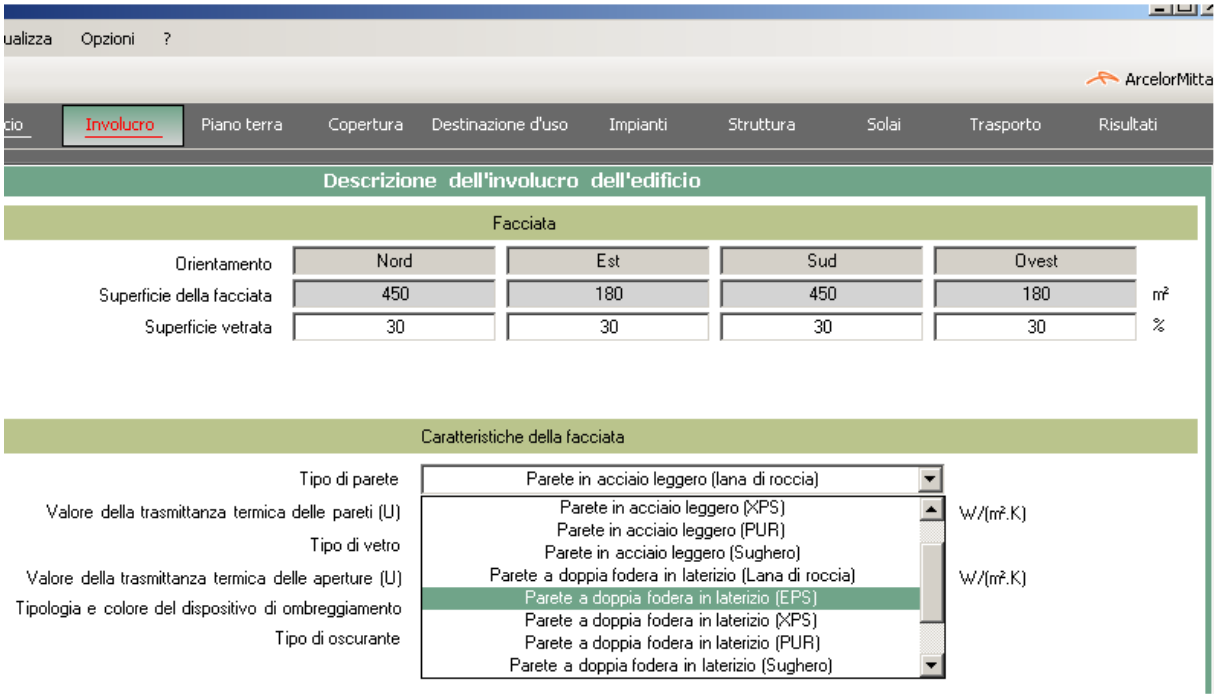


Figura 17: selezione del tipo di parete

- il valore della trasmittanza termica U per ogni tipo di parete, mostrato in accordo alla selezione dell'utente e calcolato considerando i ponti termici associati.
- il tipo di apertura con i diversi valori di trasmittanza termica U, a secondo della tipologia della superficie vetrata (Figura 18):
    1. Doppi vetri
    2. Doppi vetri a bassa emissività (tipo 1)
    3. Doppi vetri a bassa emissività (tipo 2)
    4. Doppi vetri a bassa emissività (tipo 3)

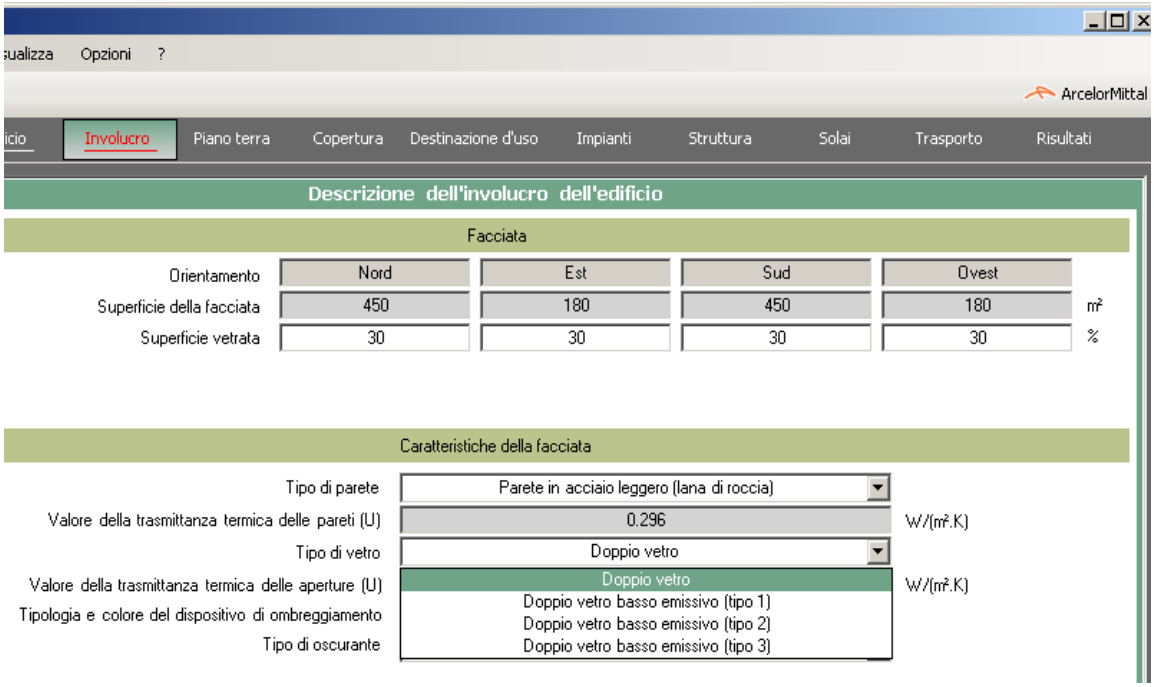


Figura 18: selezione del tipo di apertura

- Il valore della trasmittanza termica U del tipo di apertura selezionato;
- il tipo di dispositivo di ombreggiamento (Figura 19):

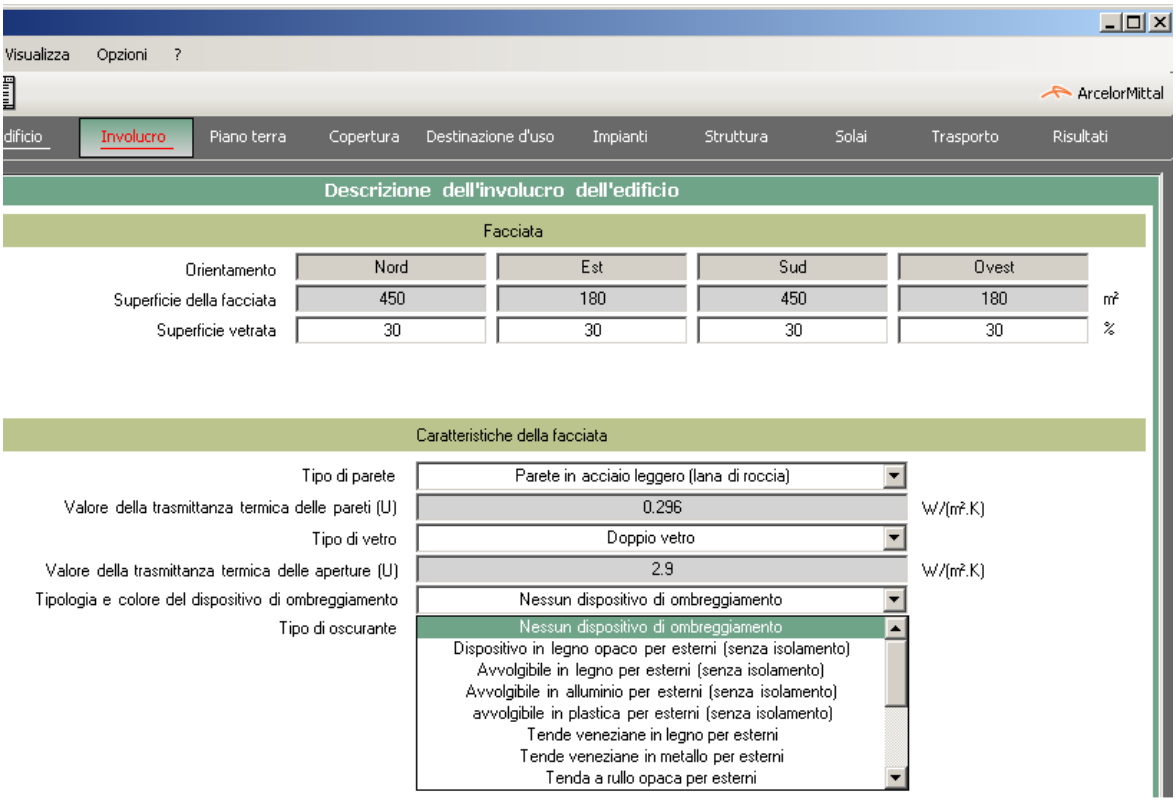


Figura 19: selezione della tipologia dei dispositivi di ombreggiamento

Attraverso lo schema a tendina è possibile selezionare una delle seguenti opzioni:

1. Nessun dispositivo di ombreggiamento
2. Dispositivo in legno opaco per esterni (senza isolamento)
3. Avvolgibile in legno per esterni (senza isolamento)
4. Avvolgibile in alluminio per esterni (senza isolamento)
5. Avvolgibile in plastica per esterni (senza isolamento)
6. Tende veneziane in legno per esterni
7. Tende veneziane in metallo per esterni
8. Tende a rullo opache per esterni

- il tipo di oscurante, che può essere selezionato tra le opzioni riportate nell'elenco seguente (Figura 20):

1. Nessun dispositivo oscurante
2. Dispositivo in legno opaco per esterni (senza isolamento)
3. Avvolgibile in legno per esterni (senza isolamento)
4. Avvolgibile in alluminio per esterni (senza isolamento)
5. Avvolgibile in plastica per esterni (senza isolamento)
6. Tende veneziane in legno per esterni
7. Tende veneziane in metallo per esterni
8. Tende a rullo opache per esterni

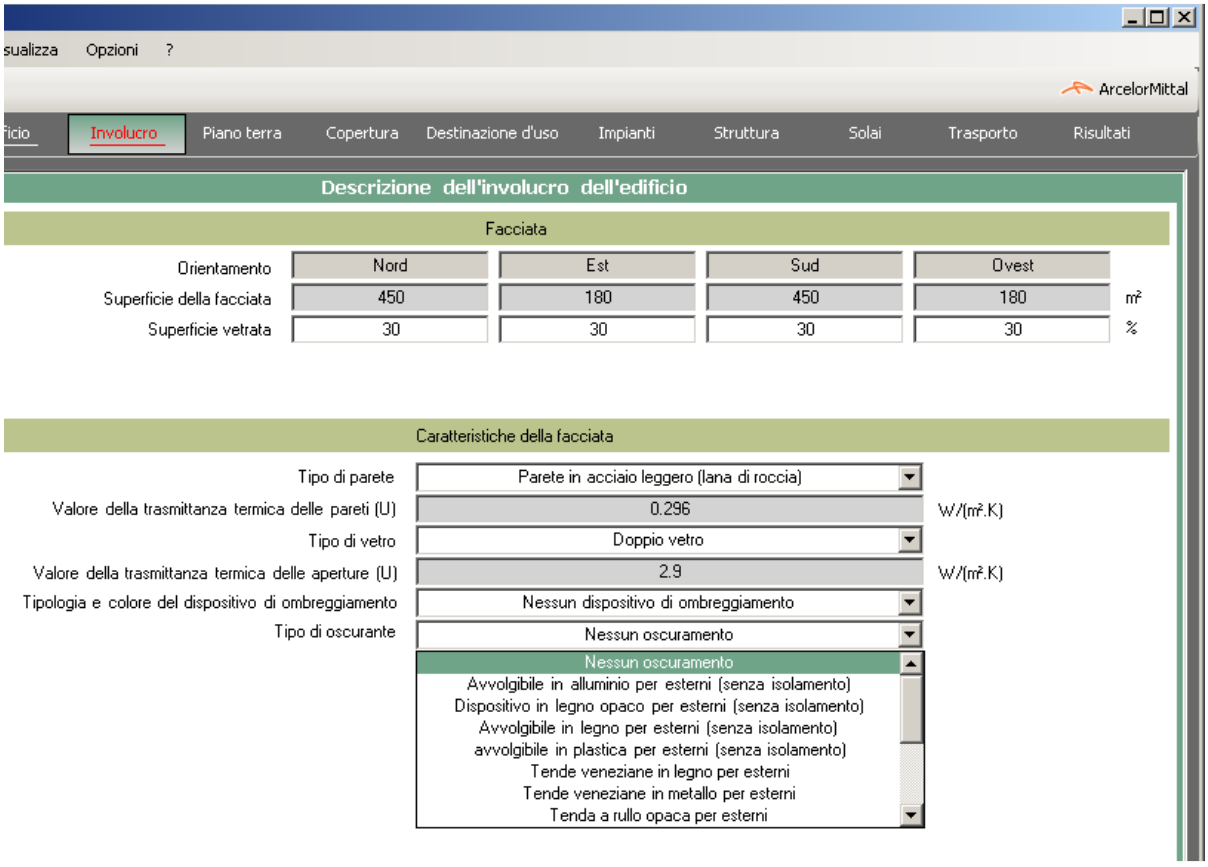


Figura 20: selezione del tipo di oscurante

6.2.4 Piano terra

Questa sezione ha lo scopo di definire le caratteristiche del piano terra (Figura 21):

- il valore della trasmittanza termica U del piano terra, che dipende dalla quantità del materiale isolante;
- il tipo di solaio per il piano terra, selezionando una delle seguenti opzioni:
  1. solaio controterra
  2. solaio rialzato

  Il tipo di solaio per il piano terra influisce sul comportamento termico dell'edificio ed è caratterizzato da parametri impostati su valori predefiniti in modo da semplificare l'interfaccia. Questi parametri sono descritti in modo dettagliato nel volume "Documentazione di base".
- spessore del solaio, espresso in metri;
- peso delle barre in acciaio, espresso in ton, utilizzate per armare il solaio.

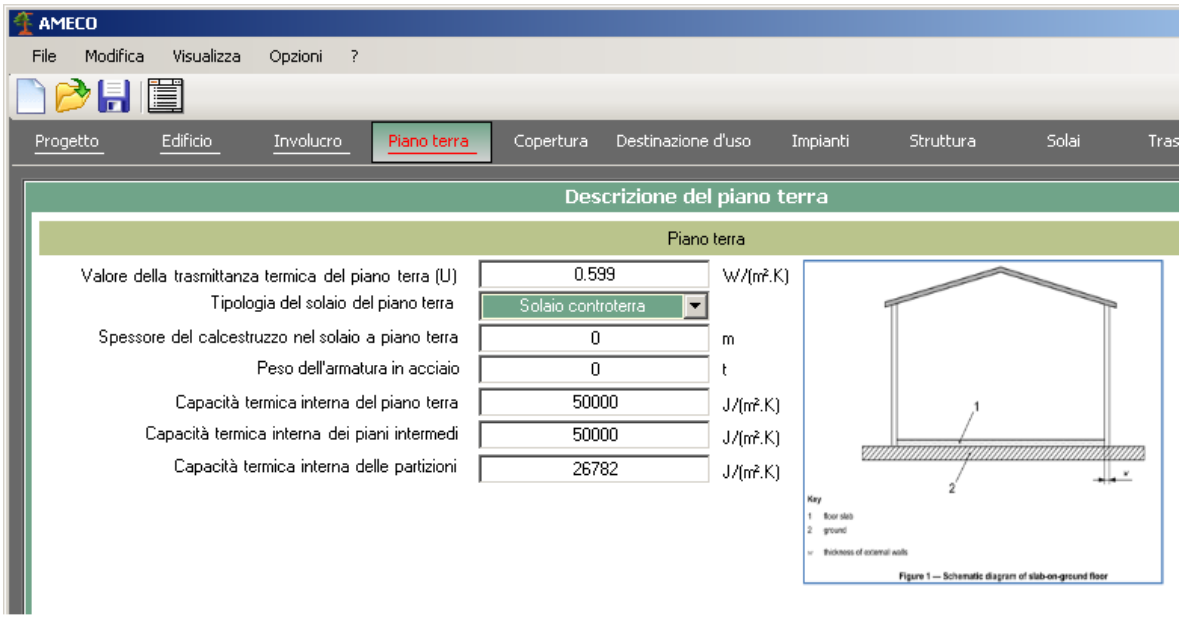


Figura 21: descrizione del piano terra

6.2.5 Copertura

In questa sezione (Figura 22), si definisce la copertura attraverso i seguenti parametri:

- il tipo di copertura;
- il valore della trasmittanza termica U.

In particolare, le tipologie di copertura (Figura 23) disponibili sono le seguenti:

1. membrana in acciaio resistente all'acqua
2. tipo di copertura 2

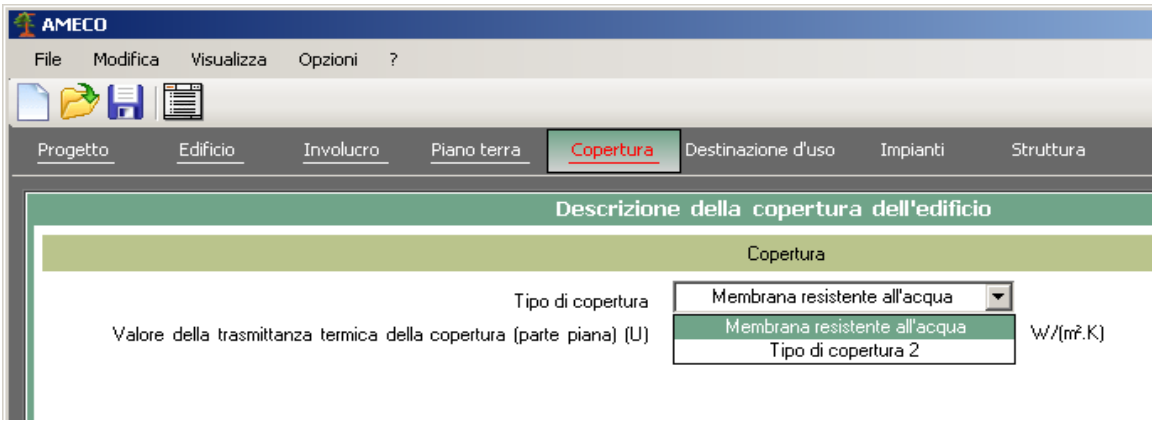


Figura 22: selezione dell'elemento copertura

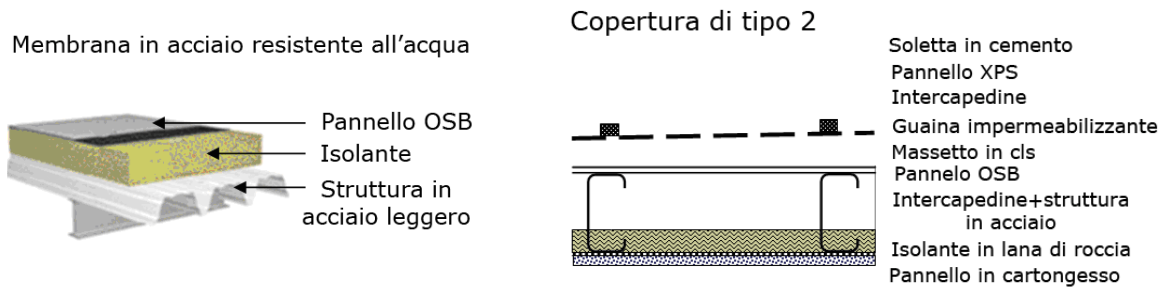


Figura 23: tipologie di copertura disponibili in AMECO3

6.2.6 Occupazione

Questa sezione ha lo scopo di definire le condizioni interne dell'edifico, usate nel calcolo (Figura 24). In particolare, è necessario considerare:

- la temperatura nominale di riscaldamento, espressa in °C, tale che l'impianto di riscaldamento entri in funzione se la temperatura interna risulta inferiore a questo valore di temperatura;
- la temperatura nominale di raffrescamento, espressa in °C, tale che l'impianto di riscaldamento entri in funzione se la temperatura interna risulta superiore a questo valore di temperatura;
- la portata d'aria, espressa in numero di ricambi d'aria all'ora, relativamente alla modalità riscaldamento;
- la portata d'aria relativamente alla modalità raffrescamento.

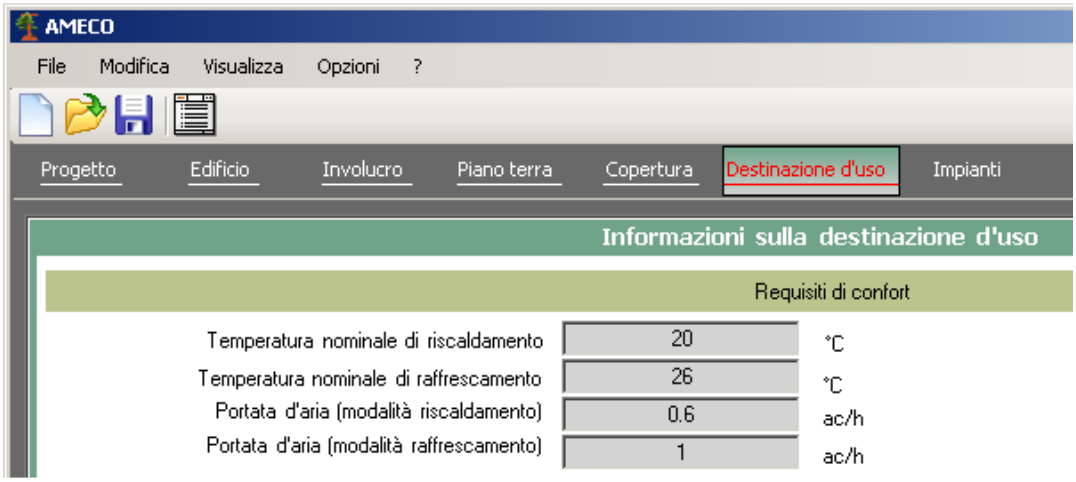


Figura 24: parametri relativi allo scenario di occupazione di un edificio residenziale

Questi parametri sono impostati su valori fissi che dipendono direttamente dal tipo di edificio selezionato dall'utente nella sezione "Edificio".

6.2.7 Impianti

Questo modulo è dedicato alla definizione degli impianti di energia attiva, indicati di seguito:

- il tipo di impianto di riscaldamento che può essere scelto tra le tipologie seguenti (Figura 25):
    1. Riscaldamento elettrico
    2. Riscaldamento a gas
    3. Riscaldamento a combustibile liquido
    4. Riscaldamento a combustibile fossile
    5. Split riscaldamento
    6. Nessun sistema di riscaldamento
- il tipo di impianto di raffrescamento che può essere scelto tra le opzioni seguenti:
    1. Split raffrescamento
    2. Macchina di refrigeramento (ciclo di compressione)
    3. Macchina di refrigeramento (ciclo di assorbimento)
    4. Nessun sistema di raffrescamento
- il sistema di recupero del calore: questo parametro, espresso in percentuale, deve essere specificato nel caso in cui l'edificio sia dotato di un sistema di ventilazione a doppio flusso. In caso di ventilazione naturale, nessun sistema di recupero termico sarà implementato nell'edificio.
- il tipo di impianto per la produzione di ACS (acqua calda sanitaria), che può essere scelto tra le opzioni seguenti (Figura 26):
    1. Caldaia elettrica
    2. Caldaia a gas

3. Scaldabagno indipendente (condensa)
4. Scaldabagno indipendente
5. Nessun sistema per ACS

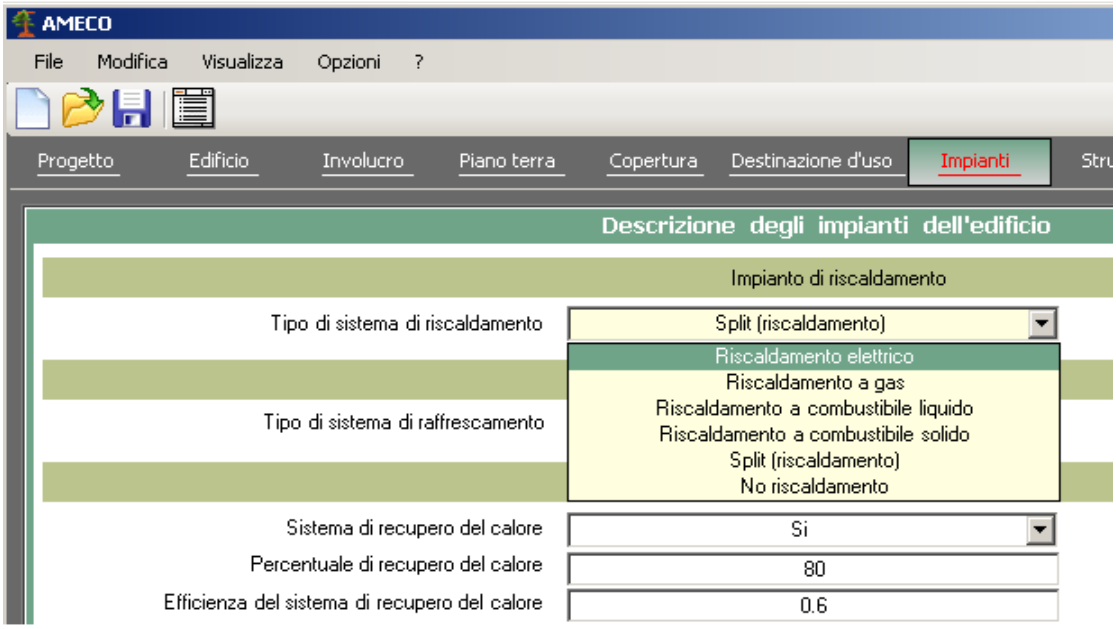


Figura 25: selezione del tipo di impianto di riscaldamento

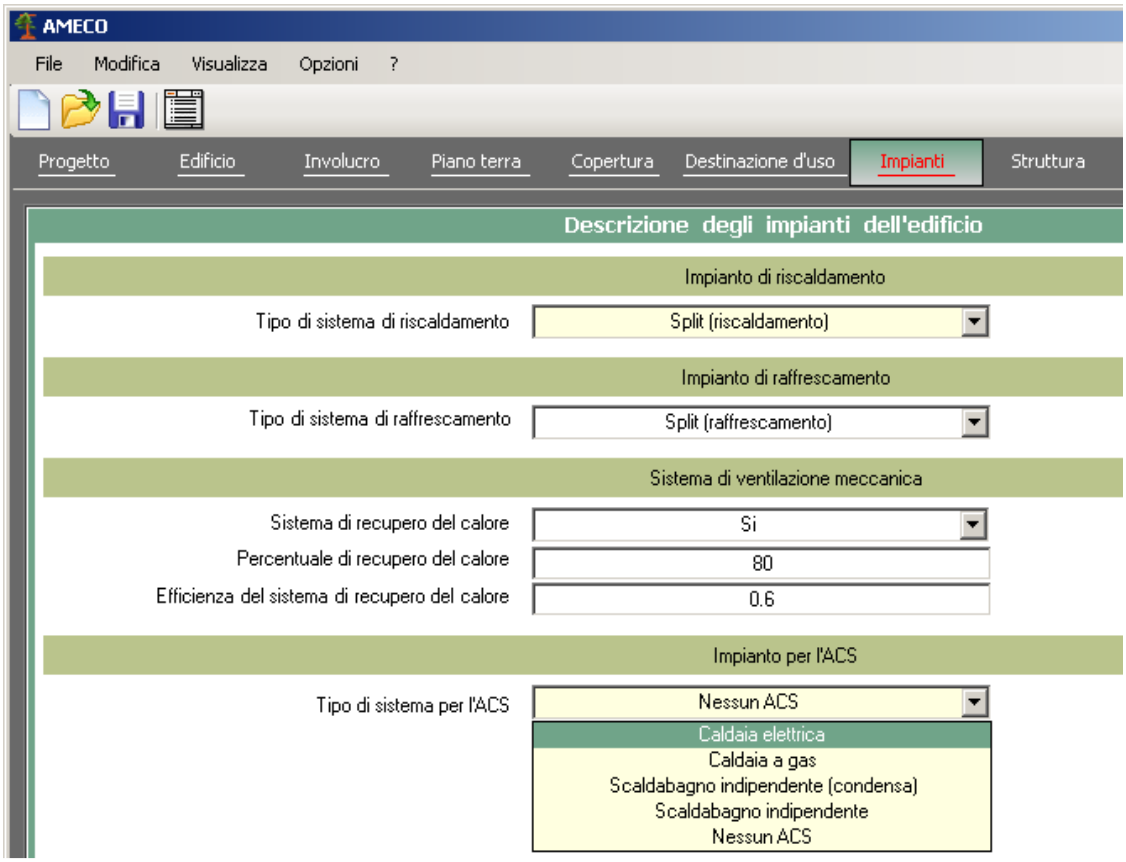


Figura 26: selezione del tipo di impianto per Acqua Calda Sanitaria

6.2.8 Struttura

In questo modulo gli elementi in acciaio della struttura devono essere specificati e sono espressi in tonnellate (Figura 27).

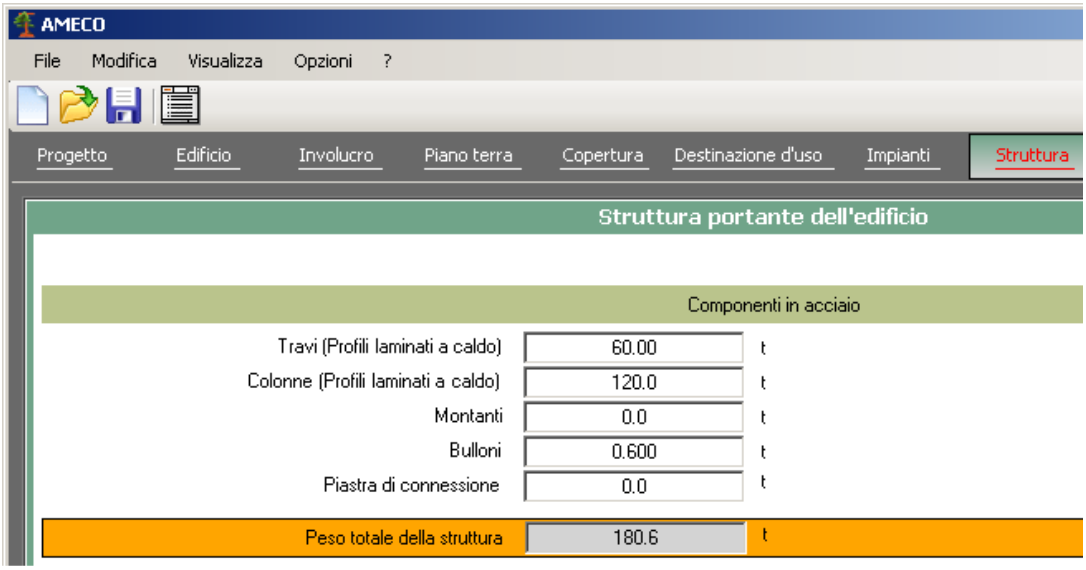


Figura 27: Definizione del peso dei diversi elementi strutturali in acciaio

Elementi in acciaio:

- peso totale delle travi in acciaio;
- peso totale delle colonne in acciaio;
- peso totale dei montanti;
- peso totale dei bulloni;
- peso totale di altri elementi in acciaio (piastre, angolari ...).

6.2.9 Solai

In questo modulo si richiede di considerare i parametri relativi al progetto dei solai dei piani intermedi. In relazione alla scelta tecnologica del solaio, l'utente dovrà specificare le caratteristiche degli elementi in acciaio e/o cemento armato del solaio prescelto (Figura 28).

Elementi in acciaio

Il tipo di solaio, deve essere scelto tra le opzioni dell'elenco seguente:

- Solaio piano
- Solaio misto
- Solaio con casseri a perdere
- Solaio prefabbricato
- Solaio a secco

Tutte queste tipologie, ad eccezione della prima, sono caratterizzate dall'uso di specifiche lamiere grecate:

- la lamiera grecata usata per il solaio (se si fa riferimento a solaio non piano) deve essere scelta tra le opzioni riportate nell'elenco ottenuto in accordo alla tipologia di solaio selezionato nel database relativo alle lamiere grecate.
- lo spessore della lamiera grecata (solai non piani) deve essere scelto tra le opzioni dell'elenco ottenuto in accordo alla tipologia di lamiera selezionata nel database relativo alle lamiere grecate.
- se non si considera il solaio piano, la densità della lamiera selezionata è mostrata come il peso totale delle lamiere utilizzate nell'intero edificio oggetto di studio.

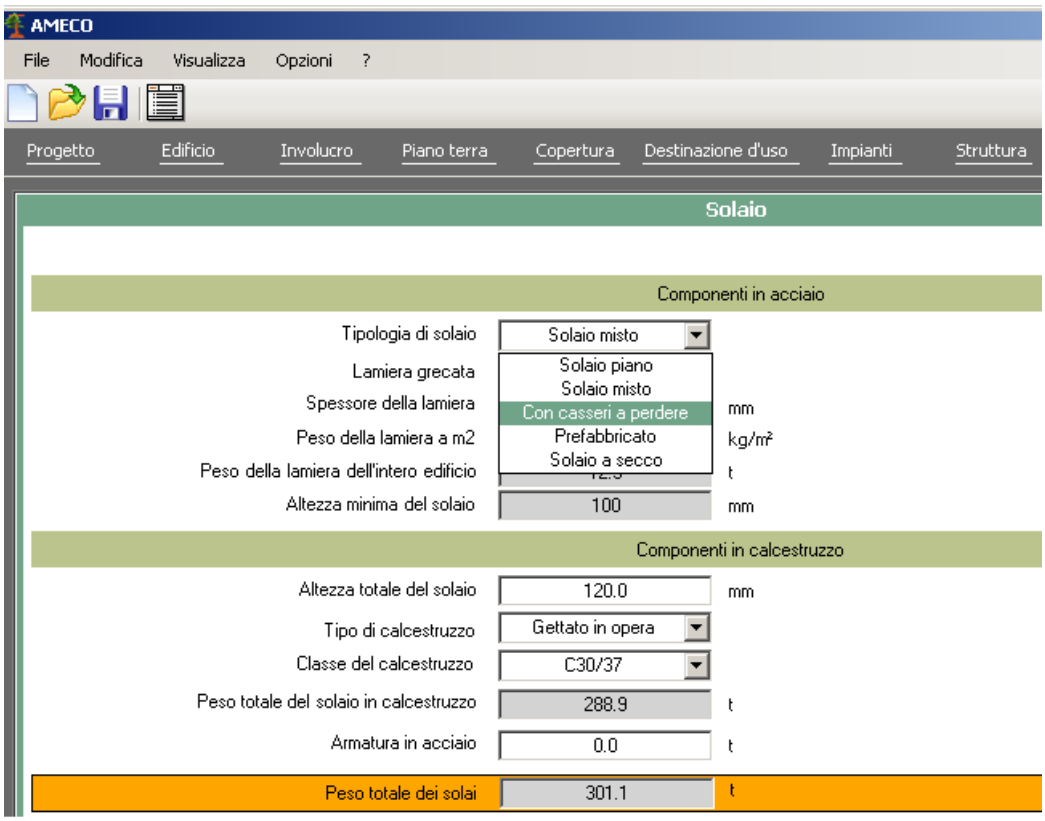


Figura 28: Selezione e definizione degli elementi che caratterizzano i solai dei piani intermedi, se previsto.

Elementi in cemento armato

- il contenuto di cemento nel calcestruzzo utilizzato per i solai
- il valore predefinito relativo alla densità del calcestruzzo è calcolato automaticamente tenendo conto del contenuto di cemento
- la densità del calcestruzzo dei solai deve essere definita facendo riferimento al valore predefinito oppure indicata direttamente dall'utente
- l'altezza totale dei solai (includendo la lamiera grecata se prevista)
- partendo da quest'ultimo valore, dalla densità del calcestruzzo e dalla superficie dei solai, il software calcola e mostra il peso totale di calcestruzzo utilizzato per i solai

- è necessario inserire anche il peso totale dell'armatura usata nei solai.

Nel caso in cui l'edificio non presenti piani intermedi, l'utente potrà passare direttamente al modulo successivo.

6.2.10 Trasporto

In questa sezione si definiscono i parametri relativi al trasporto degli elementi dell'edificio di studio.

Trasporto di componenti in acciaio

L'utente ha la possibilità di selezionare i dati medi del trasporto europeo oppure inserire dati stabiliti dall'utente stesso. Nel primo caso si fa riferimento a valori predefiniti, descritti in dettaglio nel volume "Documentazione di base (Figura 29); nel secondo, invece, è necessario definire i dati seguenti (Figura 30):

- il carico di acciaio trasportato con treno elettrico;
- la distanza percorsa con i suddetti treni elettrici (dal sito di produzione al cantiere);
- il carico di acciaio trasportato con camion;
- la distanza percorsa con i suddetti camion (dal sito di produzione al cantiere)
- la somma dei carichi di acciaio trasportato con treni e con camion è uguale al peso totale di acciaio utilizzato nell'intero edificio, includendo travi, colonne, bulloni, altri elementi in acciaio, lamiere e armature.

Trasporto di componenti in calcestruzzo

In relazione al trasporto del calcestruzzo, è possibile procedere in due modi diversi: considerare il trasporto del calcestruzzo liquido con betoniere nel caso di calcestruzzo prodotto in cantiere oppure considerare il trasporto di elementi prefabbricati con camion nel caso in cui il calcestruzzo sia prefabbricato.
In base a tali considerazioni, i parametri da precisare per il trasporto del calcestruzzo risultano i seguenti:

- il peso di cls prodotto in cantiere, trasportato con betoniere;
- la distanza percorsa dalle suddette betoniere (dal sito di produzione al cantiere);
- il peso del cls prefabbricato, trasportato con camion;
- la distanza percorsa dai suddetti camion (dal sito di produzione al cantiere);
- è evidente che la somma del peso di calcestruzzo prodotto in cantiere e di cls prefabbricato risulta pari al peso totale di calcestruzzo utilizzato nell'intero edificio oggetto di studio (solai e struttura).

I valori medi utilizzati sono descritti nella "Documentazione di base".

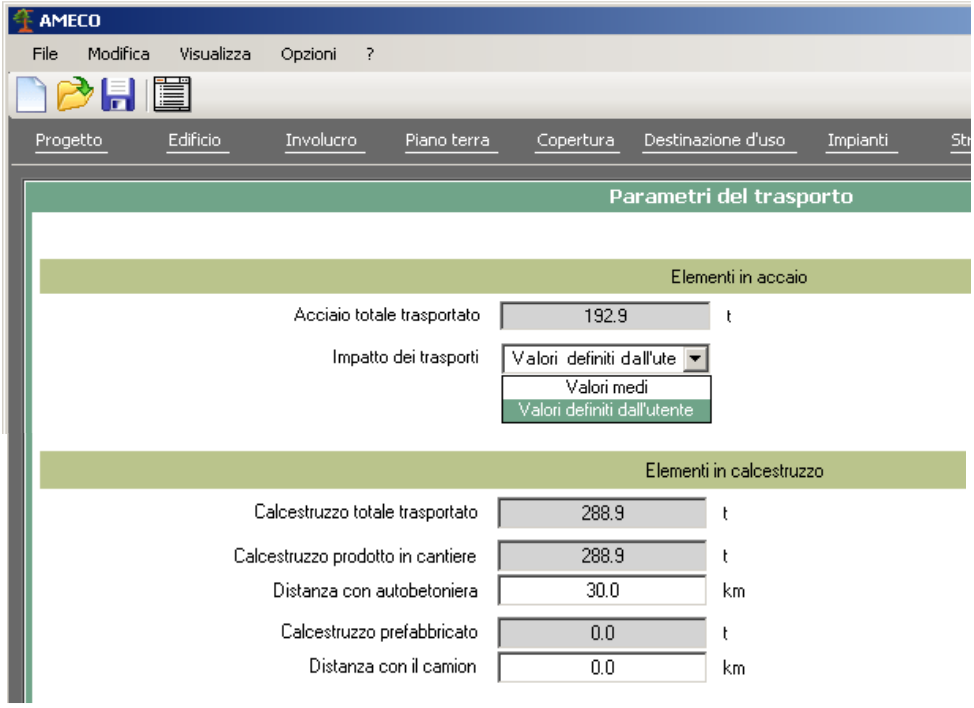


Figura 29: definizione dei parametri relativi al trasporto dei materiali, in modalità predefinita

Se si seleziona il parametro "valori definiti dall'utente", è necessario specificare i parametri seguenti:

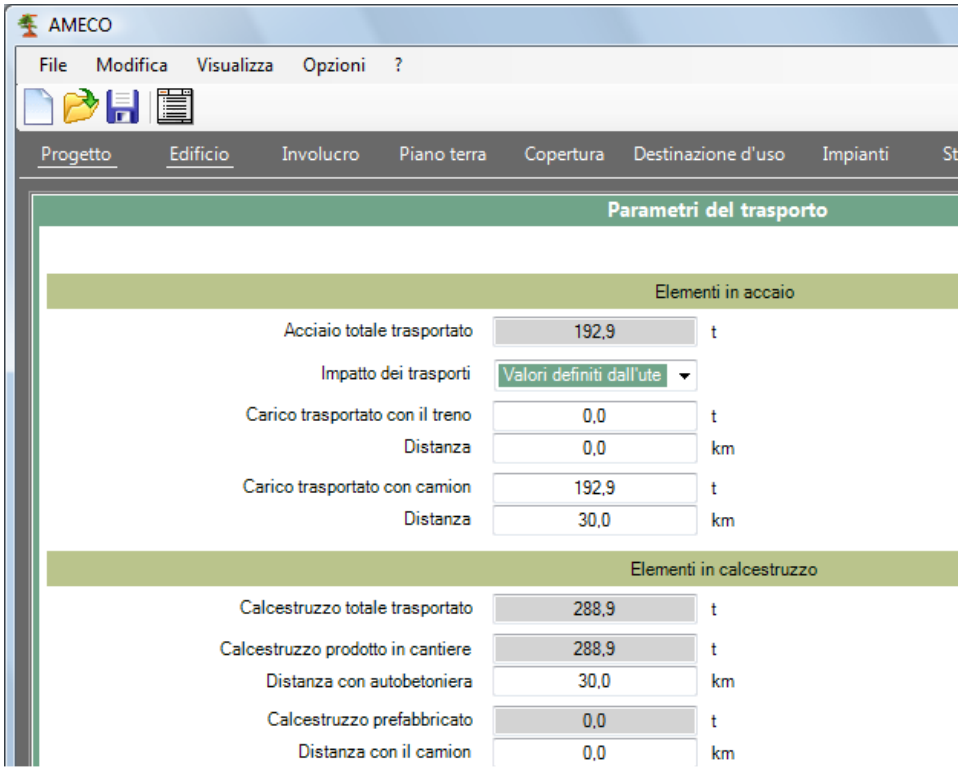


Figura 30: definizione dei parametri relativi al trasporto dei materiali, in modalità "valori definiti dall'utente"

6.2.11 Risultati

L'analisi viene avviata cliccando sul modulo "Risultati".
I risultati del calcolo possono essere scritti nel foglio di calcolo oppure mostrati direttamente nell'interfaccia utente attraverso il suddetto modulo. In quest'ultimo caso, descritto in dettaglio di seguito, è possibile visualizzare i risultati attraverso diagrammi a barre, grafici radiali e tabelle.

6.2.11.1 Grafici a barre

Nell'interfaccia del software è possibile ottenere un diagramma a barre specifico per ogni indicatore (Figura 31 e Figura 32):

1. Indicatori che descrivono gli impatti ambientali (EN15978):
   - Potenziale di Riscaldamento Globale, GWP (kgCO_2eq)
   - Potenziale di Degrado dello strato di ozono stratosferico, ODP (kgCFC11eq)
   - Potenziale di Acidificazione della terra e dell'acqua; AP (kg SO_2- eq)
   - Potenziale di Eutrofizzazione, EP (kg$(PO_4)_3$-eq)
   - Potenziale di Formazione di ossidanti fotochimici nell'ozono troposferico, POCP (kgEtheneeq)
   - Potenziale di Degrado Abiotico delle risorse per elementi, ADP_elementi (kgSbeq)
   - Potenziale di Degrado Abiotico delle risorse fossili, ADP_risorse fossili (MJ)
2. Indicatori che descrivono l'uso delle risorse (EN15978):
   - Uso di energia primaria rinnovabile che esclude le risorse di energia utilizzate come materie prime (MJ, NCV)
   - Uso di risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime (MJ, NCV)
   - Uso di energia primaria non rinnovabile che esclude le risorse di energia primaria usate come materie prime (MJ, NCV)
   - Uso di risorse di energia primaria non rinnovabile usate come materie prime (MJ, NCV)
   - Uso di materiale secondario (kg)
   - Uso di combustibili secondari rinnovabili (MJ)
   - Uso di combustibili secondari non rinnovabili (MJ)
   - Uso di acqua da rete idrica (m^3)
3. Indicatori che descrivono le categorie di rifiuti (EN15978):
   - Rifiuti pericolosi smaltiti (kg)
   - Rifiuti non pericolosi smaltiti (kg)
   - Rifiuti radioattivi smaltiti (kg)

4. Indicatori che descrivono i flussi in uscita del sistema (EN15978):
    - Componenti per il riuso (kg)
    - Materiali per il riciclo (kg)
    - Materiali per il recupero di energia (se non si tratta di rifiuti da incenerimento) (kg)
    - Energia esportata (MJ per ogni vettore energetico)

La scelta degli indicatori può essere effettuata attraverso il menu "Visualizza" sulla sinistra dello schermo:

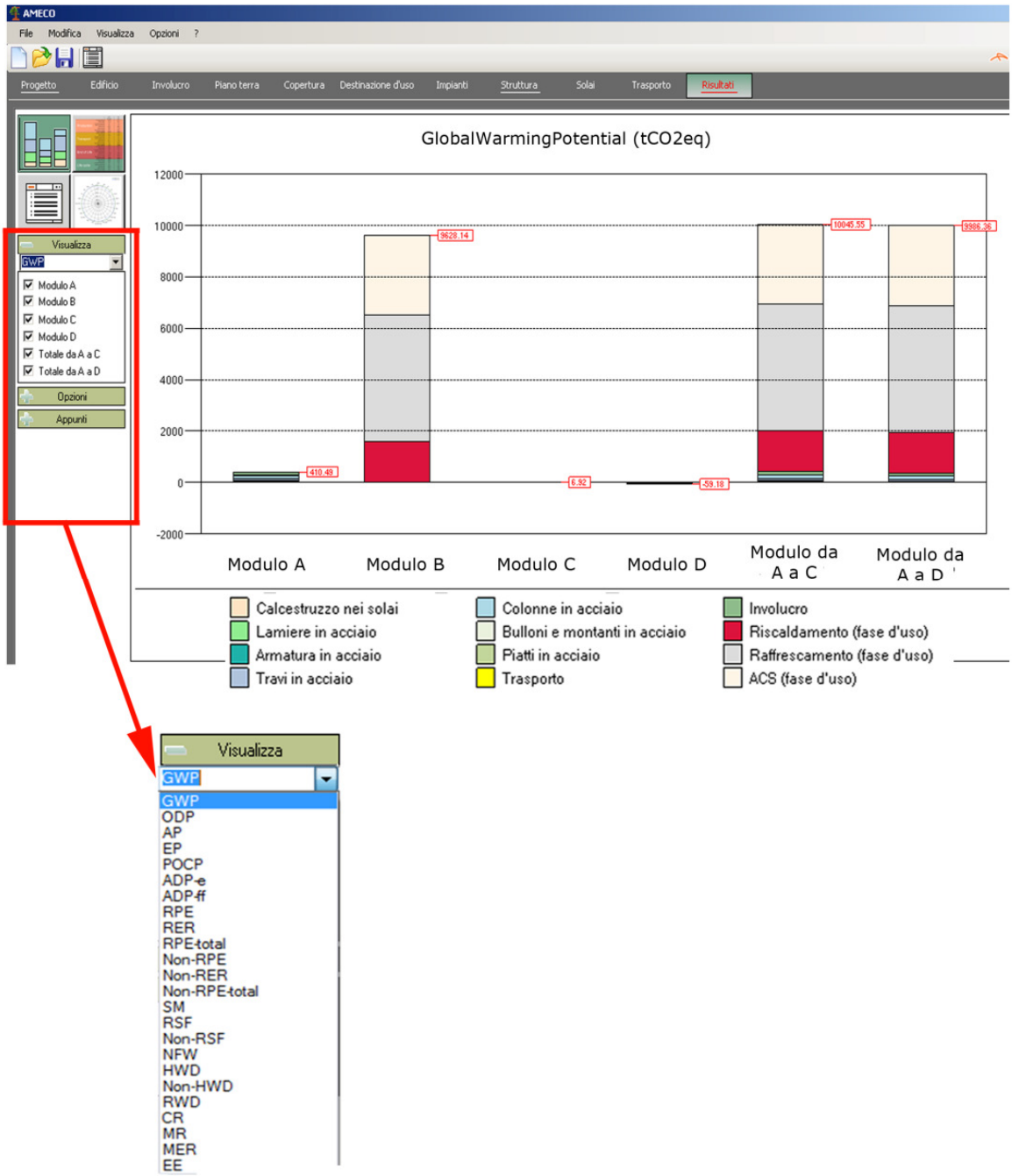


Figura 31: grafico a barre e selezione dell'indicatore visualizzato - GWP

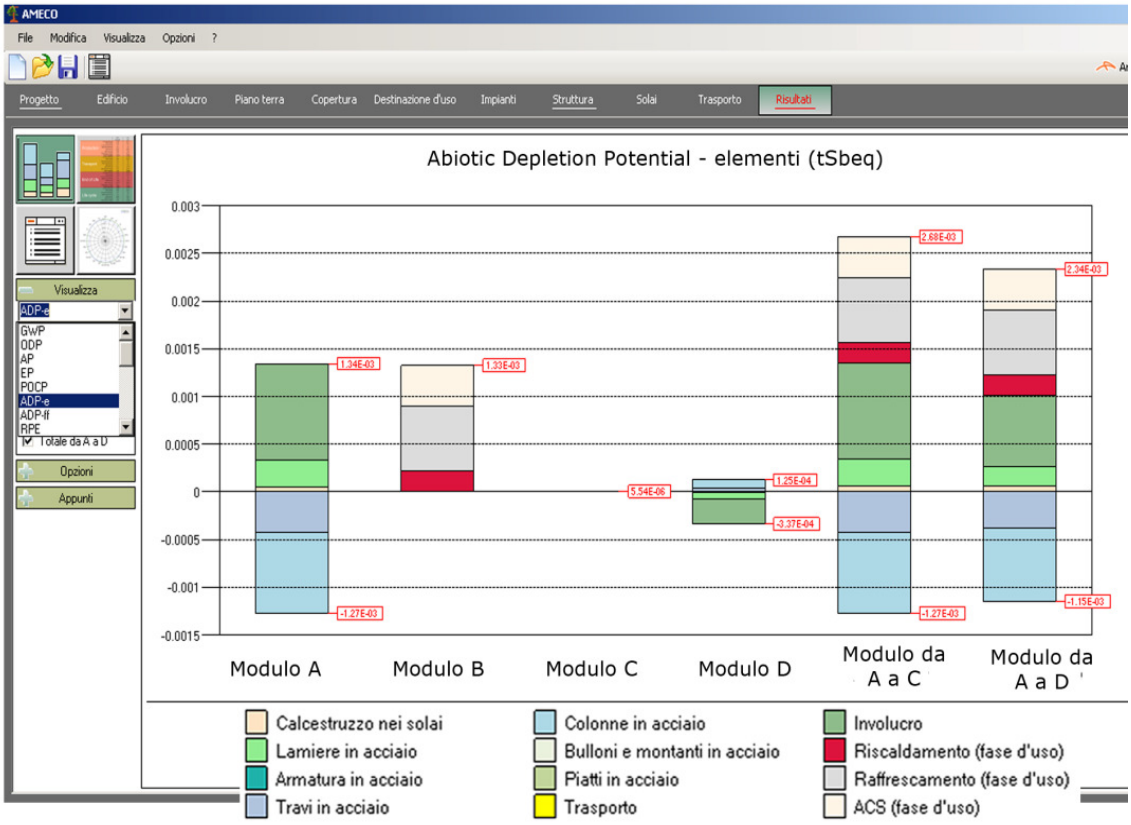


Figura 32: grafico a barre e selezione dell'indicatore visualizzato: ADP - elementi

I risultati sono mostrati per l'intero ciclo di vita dell'edificio, considerando tutti i moduli seguenti:

- Modulo A: Fase di produzione e processo di costruzione
- Modulo B: Fase d'uso
- Modulo C: Fase di fine vita
- Modulo D: Benefici e carichi al di là dei confini del sistema
- Dal Modulo A al Modulo C (i.e. somma dei tre moduli A, B e C)
- Dal Modulo A al Modulo D: ciclo di vita globale dell'edificio (i.e. somma dei 4 moduli precedenti).

In relazione ad ogni modulo, gli impatti sono rappresentati per i seguenti gruppi di elementi (se presenti nella struttura):

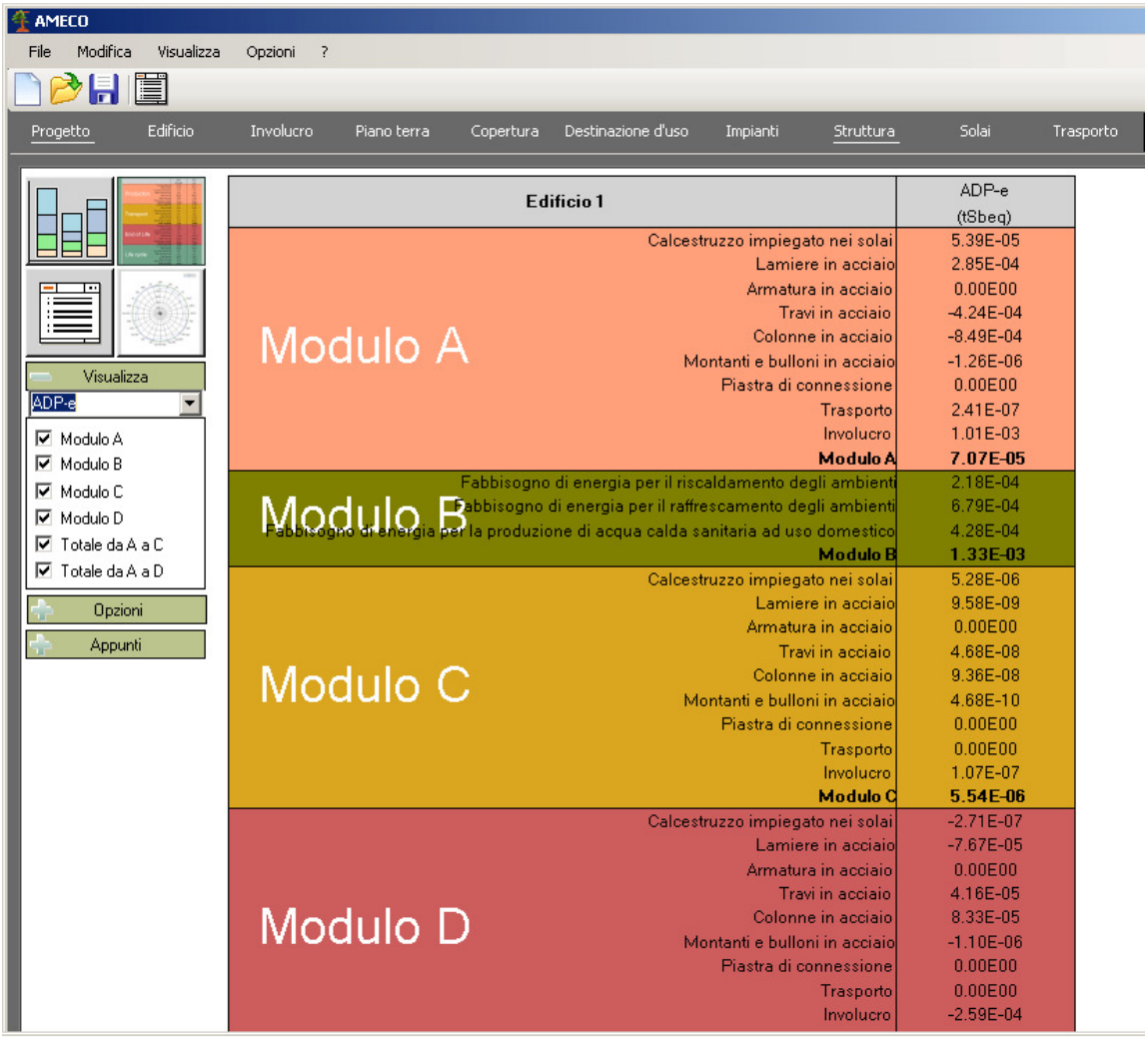
- Componenti strutturali:
    1. Calcestruzzo dei solai
    2. Calcestruzzo della struttura
    3. Lamiere in acciaio
    4. Armatura in acciaio
    5. Travi in acciaio
    6. Colonne in acciaio
    7. Montanti e bulloni in acciaio

8. Piastre in acciaio

- Componenti dell'involucro:
  1. Macro-componente
- Trasporto di tutti i componenti:
  1. Trasporto
- Fase d'uso
  1. Riscaldamento
  2. Raffrescamento
  3. ACS

6.2.11.2 Tabella

I risultati relativi agli impatti possono essere mostrati in una tabella (Figura 33), per ognuno dei moduli in cui è stato schematizzato il ciclo di vita e dei gruppi di elementi utilizzati per i grafici a barre.



Edificio 1		ADP-e (tSbeq)
Modulo A	Calcestruzzo impiegato nei solai	5.39E-05
	Lamiere in acciaio	2.85E-04
	Armatura in acciaio	0.00E00
	Travi in acciaio	-4.24E-04
	Colonne in acciaio	-8.49E-04
	Montanti e bulloni in acciaio	-1.26E-06
	Piastra di connessione	0.00E00
	Trasporto	2.41E-07
	Involucro	1.01E-03
	Modulo A	**7.07E-05**
Modulo B	Fabbisogno di energia per il riscaldamento degli ambienti	2.18E-04
	Fabbisogno di energia per il raffrescamento degli ambienti	6.79E-04
	Fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria ad uso domestico	4.28E-04
	Modulo B	**1.33E-03**
Modulo C	Calcestruzzo impiegato nei solai	5.28E-06
	Lamiere in acciaio	9.58E-09
	Armatura in acciaio	0.00E00
	Travi in acciaio	4.68E-08
	Colonne in acciaio	9.36E-08
	Montanti e bulloni in acciaio	4.68E-10
	Piastra di connessione	0.00E00
	Trasporto	0.00E00
	Involucro	1.07E-07
	Modulo C	**5.54E-06**
Modulo D	Calcestruzzo impiegato nei solai	-2.71E-07
	Lamiere in acciaio	-7.67E-05
	Armatura in acciaio	0.00E00
	Travi in acciaio	4.16E-05
	Colonne in acciaio	8.33E-05
	Montanti e bulloni in acciaio	-1.10E-06
	Piastra di connessione	0.00E00
	Trasporto	0.00E00
	Involucro	-2.59E-04

Figura 33: tabella che mostra i risultati per ogni indicatore selezionato

6.2.11.3 Grafico radiale che mostra i risultati per l'indicatore selezionato

L'utente ha anche a possibilità di visulaizzare i risultati in un grafico radiale (Figura 34) che sintetizza il totale dei moduli da A a C e da A a D per tutti gli indicatori.

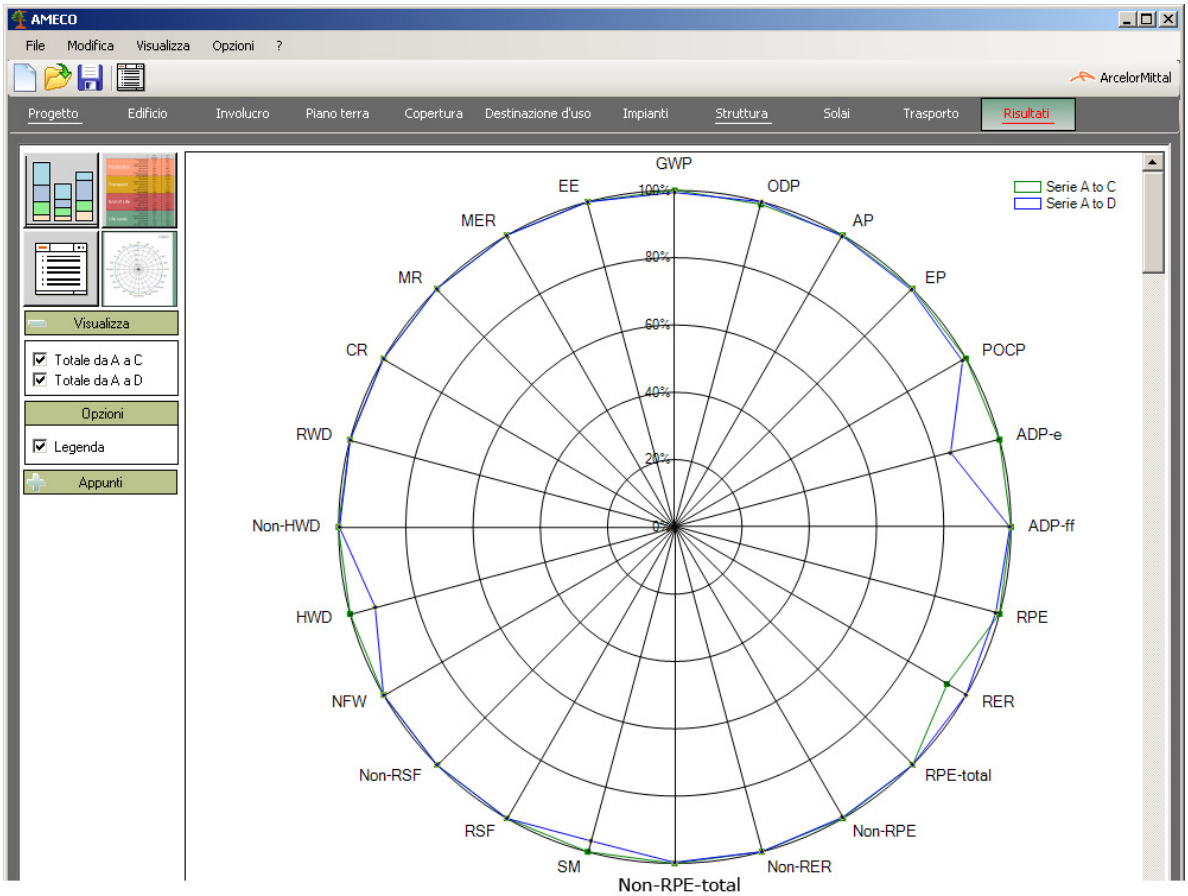
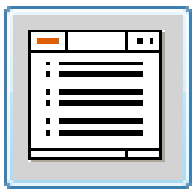


Figura 34: grafico radiale

6.2.11.4 Foglio di calcolo

Un foglio di calcolo, definito anche "relazione preliminare" può essere generato selezionando l'icona corrispondente, mostrata nella figura sottostante (Figura 35):



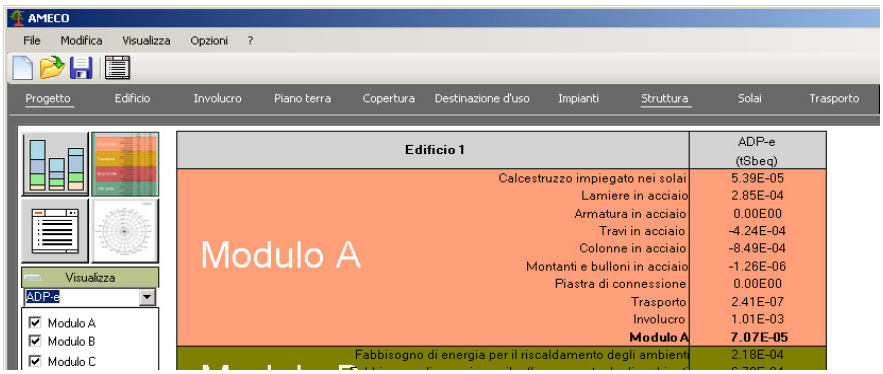
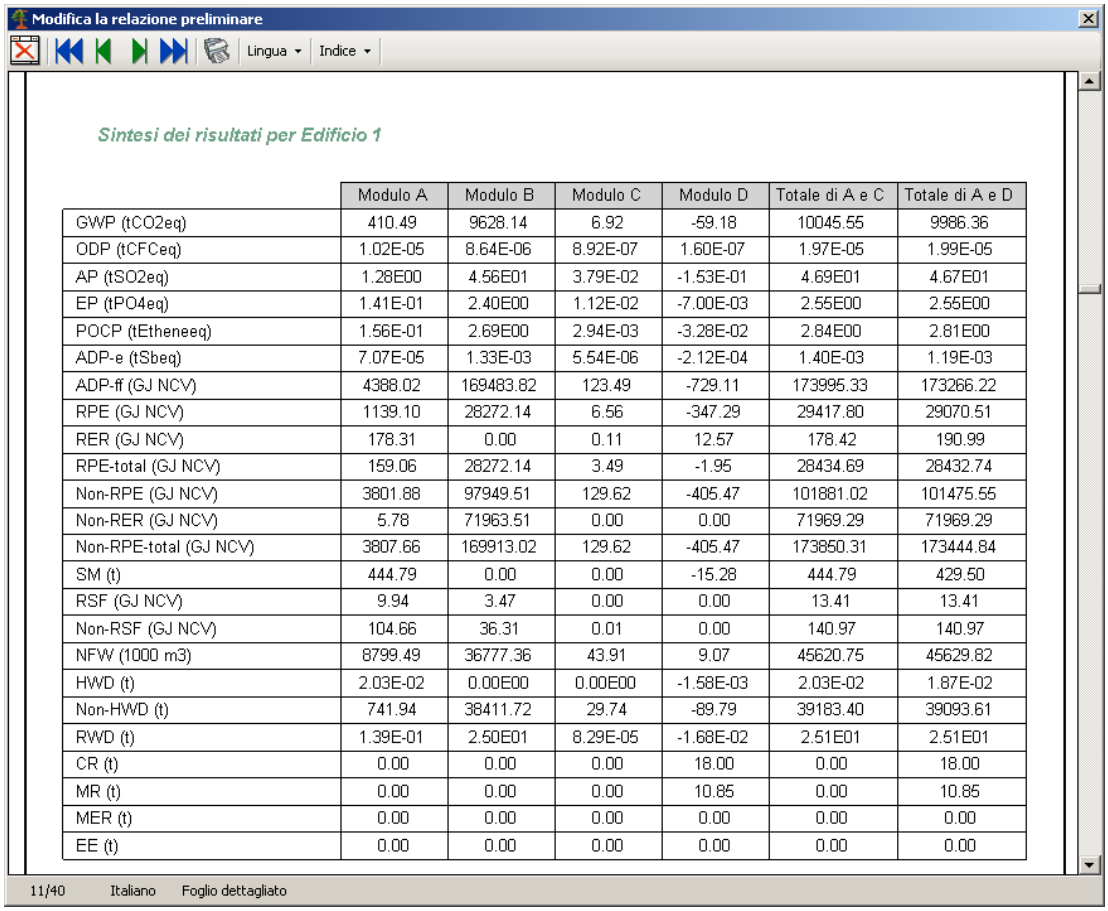


Figura 35: icona per ottenere il foglio di calcolo

Questo rapporto (Figura 36) può essere anche stampato e permette di visualizzare tutti i dati di ingresso e i risultati dell'edificio oggetto di studio (Figura 37).

Figura 36: relazione preliminare



Sintesi dei risultati per Edificio 1

	Modulo A	Modulo B	Modulo C	Modulo D	Totale di A e C	Totale di A e D
GWP (tCO2eq)	410.49	9628.14	6.92	-59.18	10045.55	9986.36
ODP (tCFCeq)	1.02E-05	8.64E-06	8.92E-07	1.60E-07	1.97E-05	1.99E-05
AP (tSO2eq)	1.28E00	4.56E01	3.79E-02	-1.53E-01	4.69E01	4.67E01
EP (tPO4eq)	1.41E-01	2.40E00	1.12E-02	-7.00E-03	2.55E00	2.55E00
POCP (tEtheneeq)	1.56E-01	2.69E00	2.94E-03	-3.28E-02	2.84E00	2.81E00
ADP-e (tSbeq)	7.07E-05	1.33E-03	5.54E-06	-2.12E-04	1.40E-03	1.19E-03
ADP-ff (GJ NCV)	4388.02	169483.82	123.49	-729.11	173995.33	173266.22
RPE (GJ NCV)	1139.10	28272.14	6.56	-347.29	29417.80	29070.51
RER (GJ NCV)	178.31	0.00	0.11	12.57	178.42	190.99
RPE-total (GJ NCV)	159.06	28272.14	3.49	-1.95	28434.69	28432.74
Non-RPE (GJ NCV)	3801.88	97949.51	129.62	-405.47	101881.02	101475.55
Non-RER (GJ NCV)	5.78	71963.51	0.00	0.00	71969.29	71969.29
Non-RPE-total (GJ NCV)	3807.66	169913.02	129.62	-405.47	173850.31	173444.84
SM (t)	444.79	0.00	0.00	-15.28	444.79	429.50
RSF (GJ NCV)	9.94	3.47	0.00	0.00	13.41	13.41
Non-RSF (GJ NCV)	104.66	36.31	0.01	0.00	140.97	140.97
NFW (1000 m3)	8799.49	36777.36	43.91	9.07	45620.75	45629.82
HWD (t)	2.03E-02	0.00E00	0.00E00	-1.58E-03	2.03E-02	1.87E-02
Non-HWD (t)	741.94	38411.72	29.74	-89.79	39183.40	39093.61
RWD (t)	1.39E-01	2.50E01	8.29E-05	-1.68E-02	2.51E01	2.51E01
CR (t)	0.00	0.00	0.00	18.00	0.00	18.00
MR (t)	0.00	0.00	0.00	10.85	0.00	10.85
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AMECO v3.00

Edificio 1

Dettagli dei risultati

Global Warming Potential

	Modulo A tCO2eq	Modulo B tCO2eq	Modulo C tCO2eq	Modulo D tCO2eq	Totale di A e C tCO2eq	Totale di A e D tCO2eq
Quantità totale di acciaio	239.92	0.00	1.21	-36.53	241.14	204.60
Travi	69.26	0.00	0.38	-6.79	69.64	62.85
Colonne	138.52	0.00	0.76	-13.58	139.27	125.70
Montanti e bulloni	0.75	0.00	0.00	-0.23	0.75	0.52
Lamiere	31.40	0.00	0.08	-15.94	31.48	15.54
Quantità totale di calcestruzzo	32.17	0.00	4.28	-0.08	36.45	36.37
Solai in calcestruzzo	32.17	0.00	4.28	-0.08	36.45	36.37
Involucro	132.68	0.00	1.43	-22.57	134.11	111.54
Totale della fase d'uso	0.00	9628.14	0.00	0.00	9628.14	9628.14
Riscaldamento	0.00	1580.76	0.00	0.00	1580.76	1580.76
Raffrescamento	0.00	4935.78	0.00	0.00	4935.78	4935.78
ACS	0.00	3111.59	0.00	0.00	3111.59	3111.59
Trasporto	5.71	0.00	0.00	0.00	5.71	5.71
Impatto totale del modulo	410.49	9628.14	6.92	-59.18	10045.55	9986.36

Figura 37: tabelle disponibili nella relazione preliminare, in cui sono mostrati i risultati relativi a tutti gli indicatori

I risultati dettagliati relativi alla fase d'uso possono essere consultati nella relazione preliminare (Figura 38).

Lingua Indice

v3.00 *Edificio 1*

Fase d'uso del riscaldamento

Energia impiegata per il riscalmento dell'ambiente					
Trasmissione di calore attraverso scambio termico					
Pareti	Vetrate	Piani fuori terra	Copertura	Terreno	Totale
kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno
22374.6	93947.4	0.0	9564.4	5945.9	131832.2
Trasmissione termica attraverso ventilazione			Guadagni termici		
Ventilazione			Vetrate	Opache	Interno
kWh/anno			kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno
40522.9			126859.2	2108.5	138420.2

Energia necessaria per il riscaldamento												
Qh,nd	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
kWh	3396.6	2500.7	1089.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	159.2	2229.7	3752.5
kWh/m²	1.9	1.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	2.1

Abbattimento dei consumi di energia		
Energia totale per il riscaldamento dell'edificio		
Energia necessaria	13127.9	kWh/anno
	7.3	kWh/m²/anno
Energia erogata	3282.0	kWh/anno
COP : 4	1.8	kWh/m²/anno
Primaria	951.8	kgoe/anno
fconv : 0.29	0.5	kgoe/m²/anno

37/40 Italiano Foglio dettagliato

Figura 38: tabella relativa ai consumi nella fase d'uso

7 CASI STUDIO

7.1 Edificio per uffici

7.1.1 Introduzione

Obiettivo di questo studio è quello di presentare il calcolo degli impatti ambientali di un edificio per uffici e confrontare diverse tipologie strutturali attraverso l'uso del software AMECO3.
In particolare sono state analizzate tre tipologie di sistemi strutturali:

- Struttura mista acciaio - calcestruzzo
- Struttura in cemento armato
- Struttura mista acciaio - calcestruzzo ottimizzata (questa ottimizzazione è stata condotta sulla base di una progettazione ECO-Design)

Il progetto strutturale è stato condotto da uno studio d'ingegneria esterno, per conto dell'ArcelorMittal e revisionato anche da un gruppo di esperti indipendenti [4].
I tre sistemi strutturali analizzati rappresentano le tipologie più comuni utilizzate in Europa per gli edifici per uffici.

7.1.2 Descrizione dell'edificio

Dimensioni dell'edifcio	42.4 m x 24.4 m
Nr dei piani della sovrastruttura	R + 8
Nr dei piani interrati	2
Altezza dell'edificio	31.2 m
Altezza interpiano	3.4 m (ad eccezione del piano terra che risulta 4.0 m)

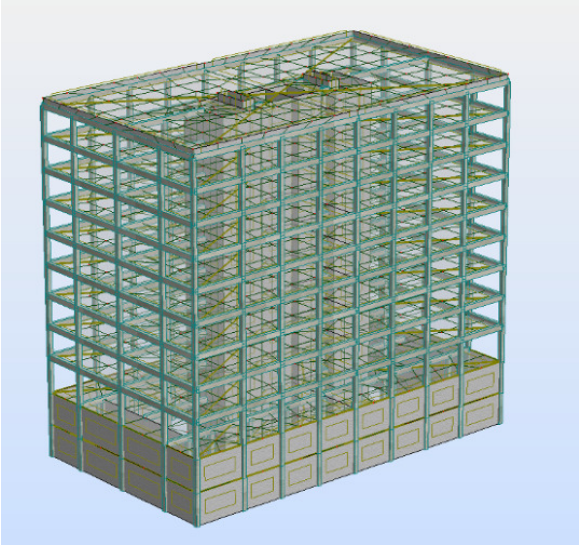


Figura 39: vista tridimensionale dell'edificio che include i livelli interrati

Alternative progettuali

Gli elementi che si differenziano nelle tre tipologie strutturali riguardano solo la sovrastruttura (colonne, travi e solai) e il nucleo centrale di stabilità (Figura 39). Gli altri elementi che caratterizzano la struttura (fondazioni e infrastruttura), l'involucro edilizio e

le finiture interne sono identiche per le tre tipologie. L'involucro edilizio è costituito da pannelli in acciaio leggero con isolante in polistirene estruso (XPS) dello spessore di 50 mm. Le finestre presentano doppi vetri con protezione dal sole solo per la facciata esposta a sud. La copertura, infine, è isolata con polistirene estruso (XPS) dello spessore di 18 cm.
Gli impianti di riscaldamento e raffrescamento si basano sul sistema "split"; inoltre, l'edificio è fornito di un impianto di ventilazione con sistema di recupero termico e di caldaia elettrica per garantire la produzione di acqua calda sanitaria.

I servizi forniti dai tre edifici sono equivalenti per le tre tipologie strutturali piochè le superfici utili risultano uguali nelle tre soluzioni proposte (Figura 40). Tuttavia il volume degli edifici concepiti con strutture miste risulta leggermente superiore rispetto a quello in cui si ipotizza una struttura in cemento armato.

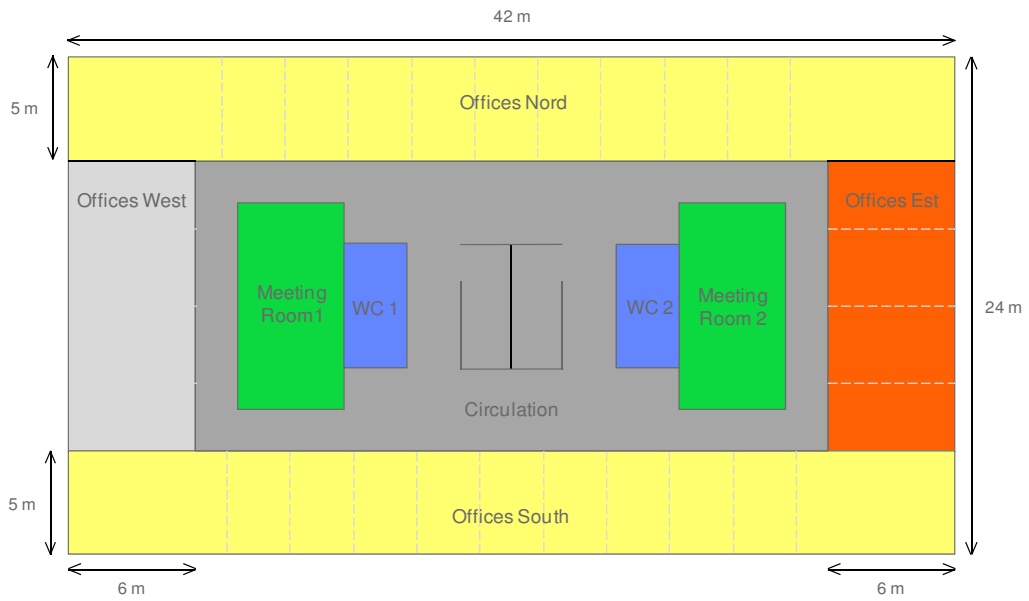


Figura 40: distribuzione funzionale di un piano tipo

Gli edifici sono stati progettati considerando la regione climatica di Parigi.

La vita utile richiesta (Life Time Scheduled -LTS) per gli edifici di studio è pari a 100 anni. In relazione agli edifici per uffici, nella maggior parte dei casi gli elementi strutturali determinano la vita utile dell'edificio stesso; infatti gli elementi secondari possono essere facilmente rinnovati o sostituiti. Nell'ambito di tale studio i materiali degli elementi strutturali risultano compatibili con l'ipotesi di una vita utile pari a 100 anni. Infine è importante precisare che la vita utile considerata non rappresenta un'ipotesi variabile tra le diverse strutture esaminate nel seguente studio.

1. <u>Soluzione mista in acciaio e calcestruzzo</u>

L'edificio è caratterizzato da una sovrastruttura mista acciaio-calcestruzzo e da un nucleo in cemento armato. Il sistema strutturale (Figura 41) è caratterizzato da travi alveolari in acciaio S355 su cui è posato il solaio misto fissato tramite connettori in acciaio. Il solaio

misto è composto da lamiera grecata COFRA+60 e calcestruzzo di classe C30/37. Il nucleo dell'edificio è in cemento armato.
Questa struttura corrisponde ad una delle tipologie strutturali di edificio per uffici attualmente più diffusa sul mercato francese.

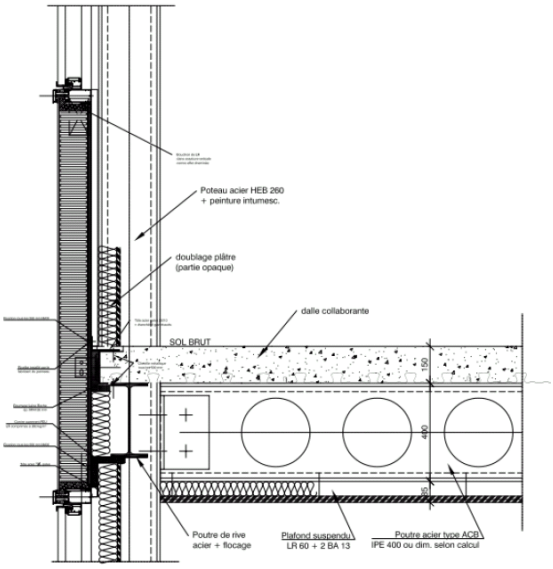


Figura 41: dettaglio del sistema strutturale

2. Soluzione in cemento armato

L'edificio in cemento armato è costituito da un solaio prefabbricato alveolare, struttura in cemento armato e nucleo centrale in calcestruzzo. Il calcestruzzo utilizzato per il solaio prefabbricato alveolare e la struttura in cemento armato è di classe C30/37. Il nucleo dell'edificio è realizzato in cemento armato.
Anche questa struttura corrisponde ad una delle tipologie strutturali di edificio per uffici attualmente più diffusa sul mercato francese.

3. Soluzione mista acciaio-calcestruzzo eco-ottimizzata

La soluzione eco-ottimizzata è costituita da una sovrastruttura mista acciaio-calcestruzzo e da un nucleo in acciaio. Il sistema strutturale è realizzato con travi alveolari in acciaio S460, su cui è posato il solaio misto fissato tramite connettori in acciaio. Il solaio misto è costituito da lamiera grecata COFRA+60 e calcestruzzo C30/37. Il nucleo dell'edificio è in acciaio.
Questa sistema strutturale rappresenta una delle tipologie strutturali di edificio per uffici attualmente più diffusa nel mercato francese, ma è stata ottimizzata in termini di uso del materiale in modo da ottimizzare l'impronta ecologica.

Nucleo centrale delle tre tipologie strutturali:

Nelle figure seguenti (Figura 42 e Figura 43) sono mostrati i nuclei centrali delle tre tipologie strutturali:

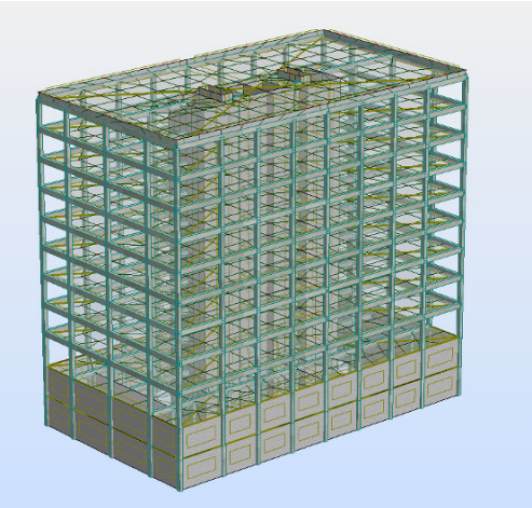


Figura 42: nucleo in cemento armato (Soluzioni 1 & 2)

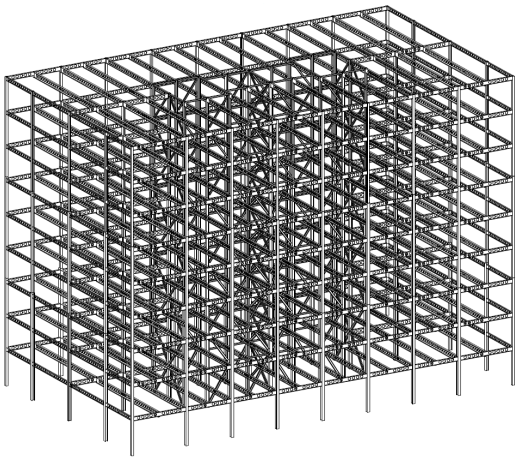


Figura 43: nucleo in acciaio (Soluzione 3)

I dati strutturali relativi alle tre soluzioni sono sintetizzati nella tabella seguente :

Sovra-struttura	**Struttura**				**Solaio**			
Valori in tons (t)	Sezioni acciaio	Piastre connessione in acciaio	Cls C30/37	Armatura acciaio	Elementi acciaio	Spessore totale	Cls solaio	Armatura acciaio
Acciaio S355	239,9 t	14,994 t	-	-	70.6 t (Cofraplus 60)	150 mm	2246 t	16.56 t
C.a.	-	-	1199 t	59.1 t	-	240 mm + 70 mm di massetto	4688 t	16.56 t
Acciaio S460	197,1 t	11,827 t	-	-	70.6 t (Cofraplus 60)	150 mm	2246 t	16.56 t
Nucleo acciaio	75,46 t	6,037 t	-	-	-	-	-	-
Nucleo c.a.	-	-	1941 t	44,16 t				

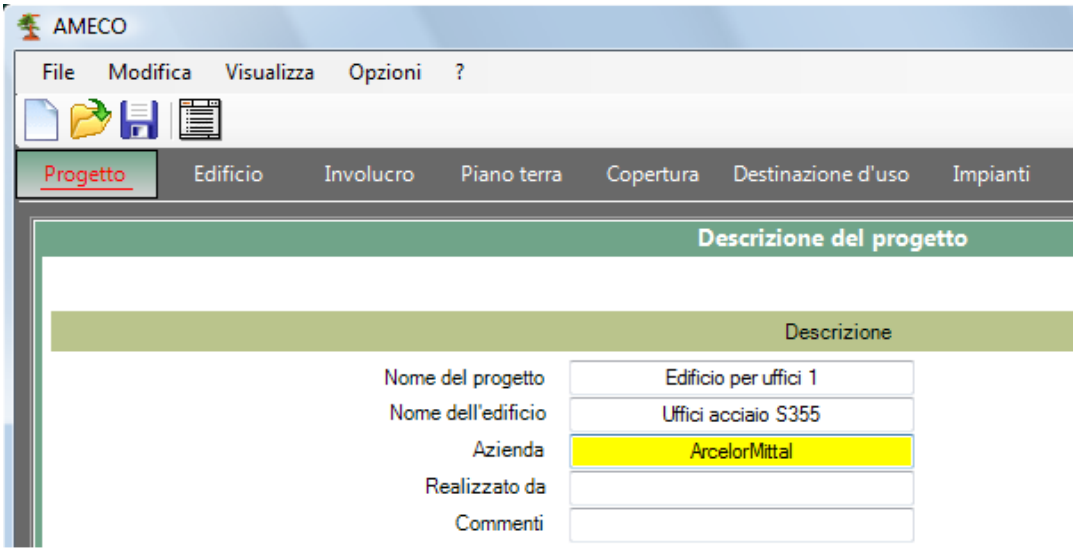
in cui: Soluzione 1 = Struttura in acciaio S355 e nucleo in cemento armato
Soluzione 2 = Struttura in cemento armato e nucleo in cemento armato
Soluzione 3 = Struttura in acciaio S460 e nucleo in acciaio

NB : peso specifico c.a. = 2500 kg/m^3

7.1.3 Analisi ambientale con il software AMECO 3

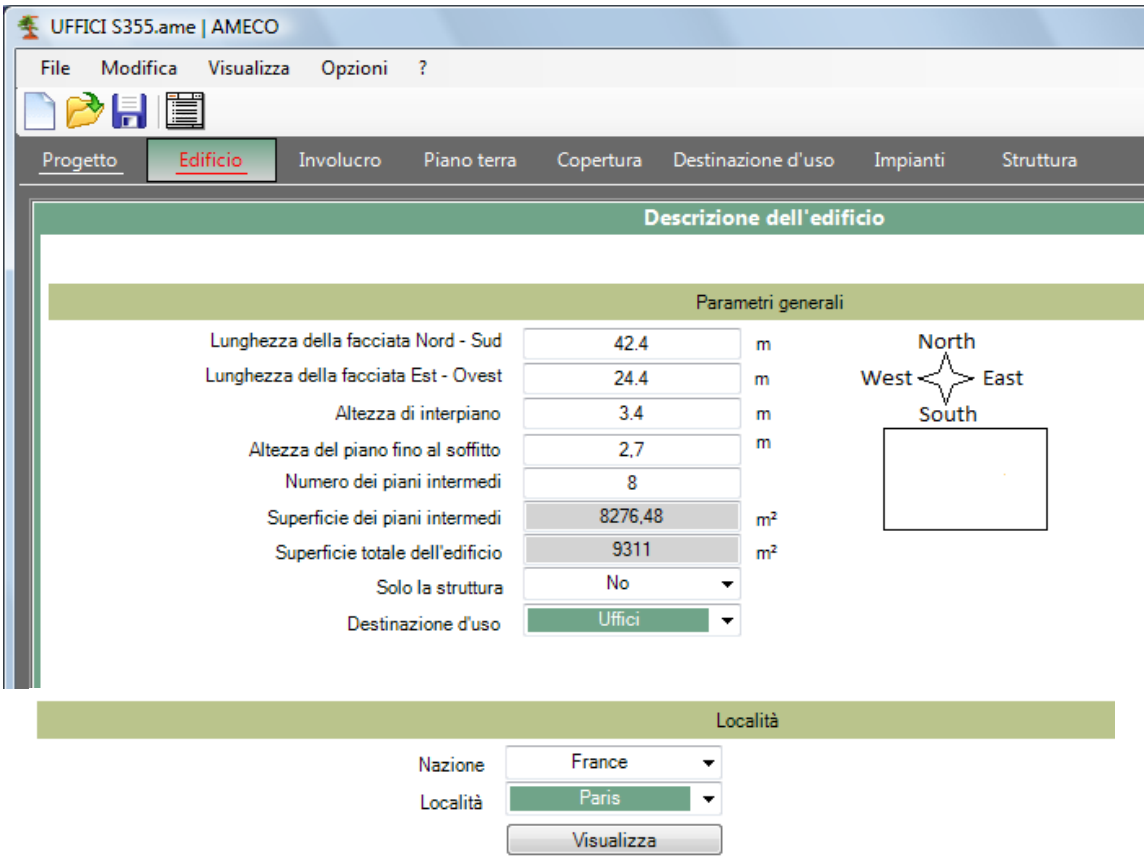
7.1.3.1 Dati di ingresso nel software AMECO3

⇨ *Dati generali d'ingresso dell'edificio 1 in AMECO3*



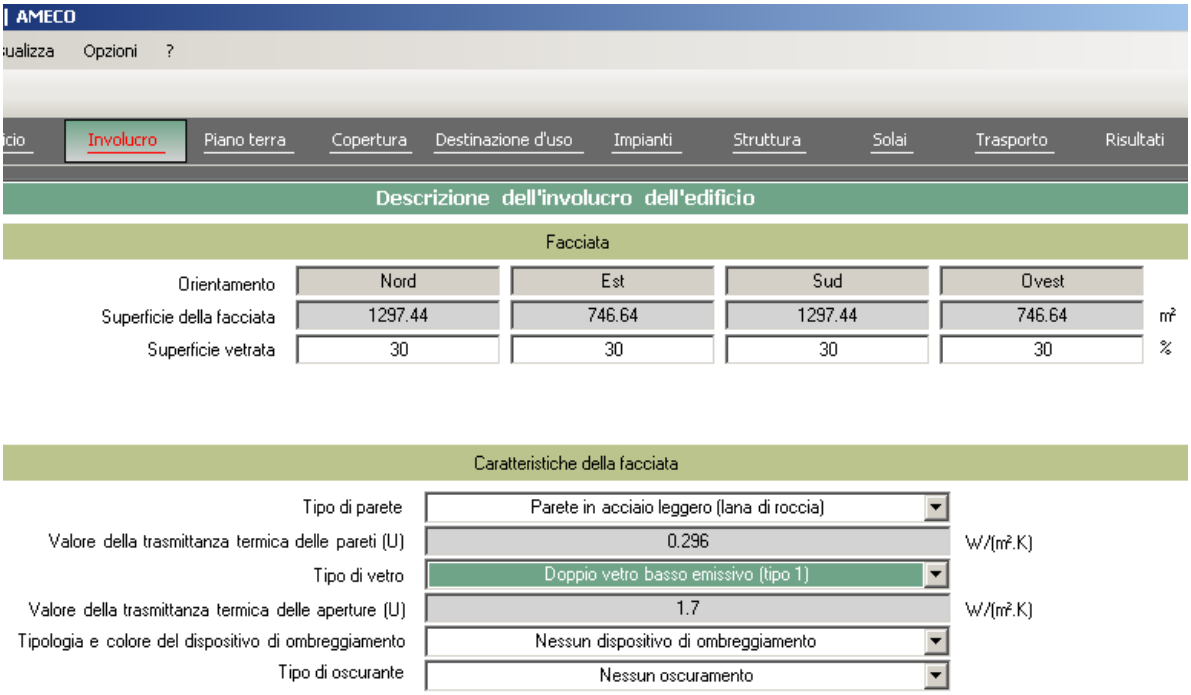
⇨ *Dati d'ingresso dell'involucro edilizio (Moduli A-C-D)*

1. Definizione dei dati generali dell'edificio:

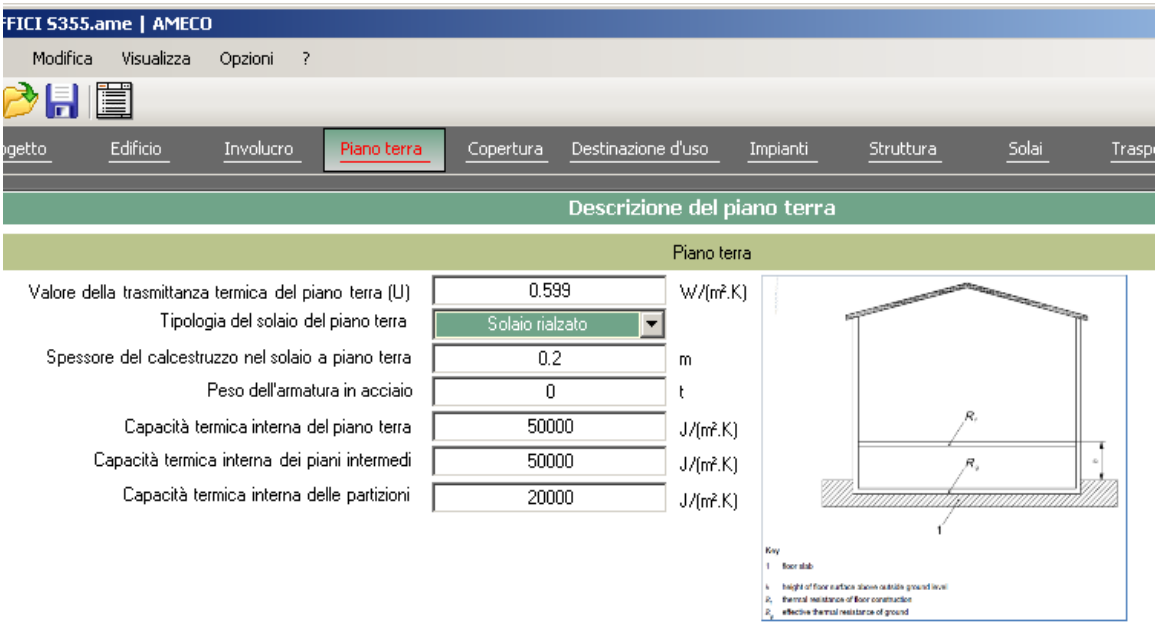


Le caratteristiche termiche (valori della trasmittanza U) considerate per l'involucro (pareti, aperture, piano terra e copertura) fanno riferimento ai parametri definiti per i componenti implementati in AMECO3.

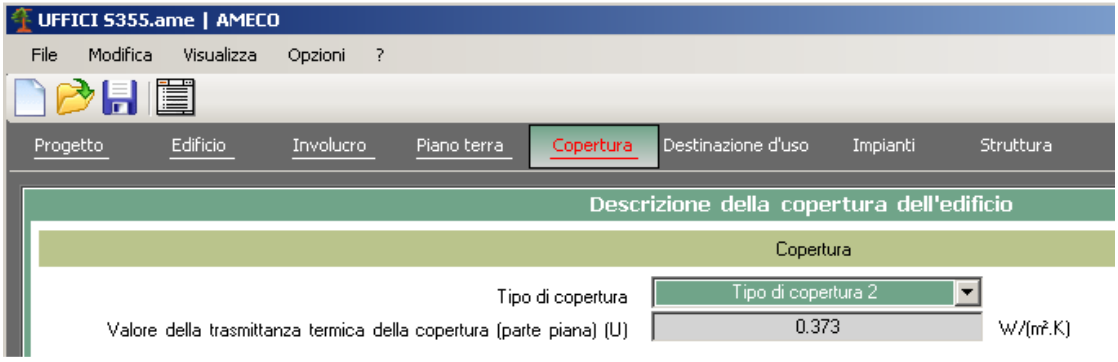
2. Definizione dell'involucro edilizio:



3. Definizione del piano terra dell'edificio:



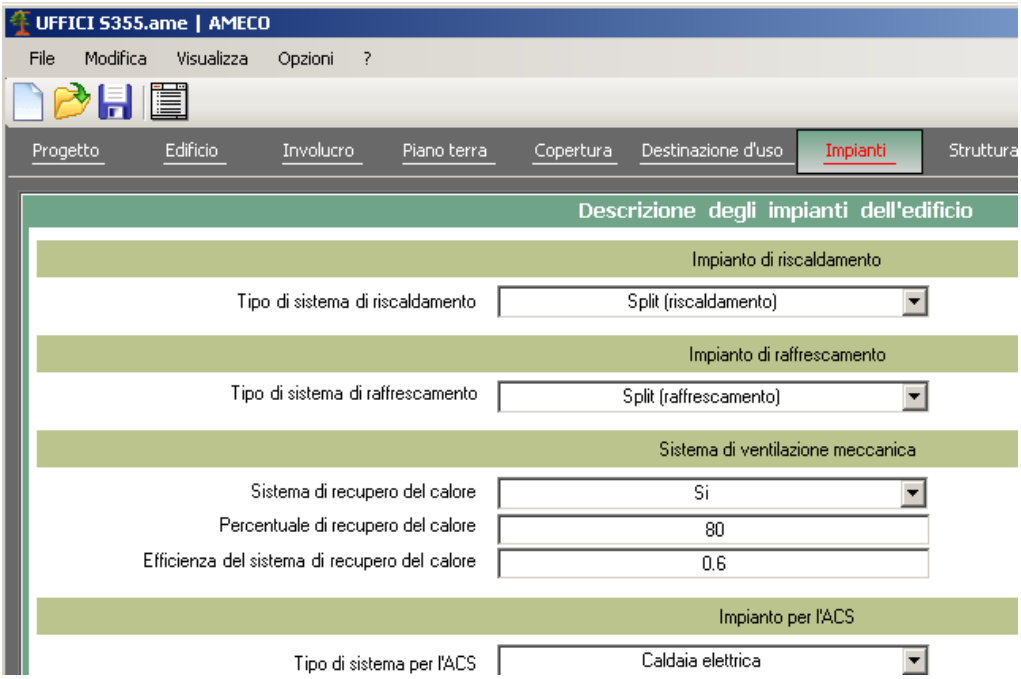
4. Definizione della copertura:



⇨ *Dati d'ingresso per la Fase d'uso dell'edificio (Modulo B)*

1. Definizione della occupazione:

2. Descrizione degli impianti dell'edificio:



⇨ *Dati generali per la struttura dell'edificio (Modulo A-C-D)*

1. Descrizione della struttura:

Bearing structure of the building

Steel elements		
Beams (Hot rolled profiles)	239.9	t
Columns (Hot rolled profiles)	0.0	t
Studs	0.0	t
Bolts	0.0	t
Plate Connections	14.99	t
Concrete elements		
Concrete Type	In-situ/Poured	
Concrete Grade	C30/37	
Beams	0.0	t
Columns	1941	t
Steel reinforcement	44.16	t
Wood elements		
Beams	0.0	t
Columns	0.0	t
Total mass of structure	2240	t

2. Descrizione dei solai:

UFFICI 5355.ame | AMECO

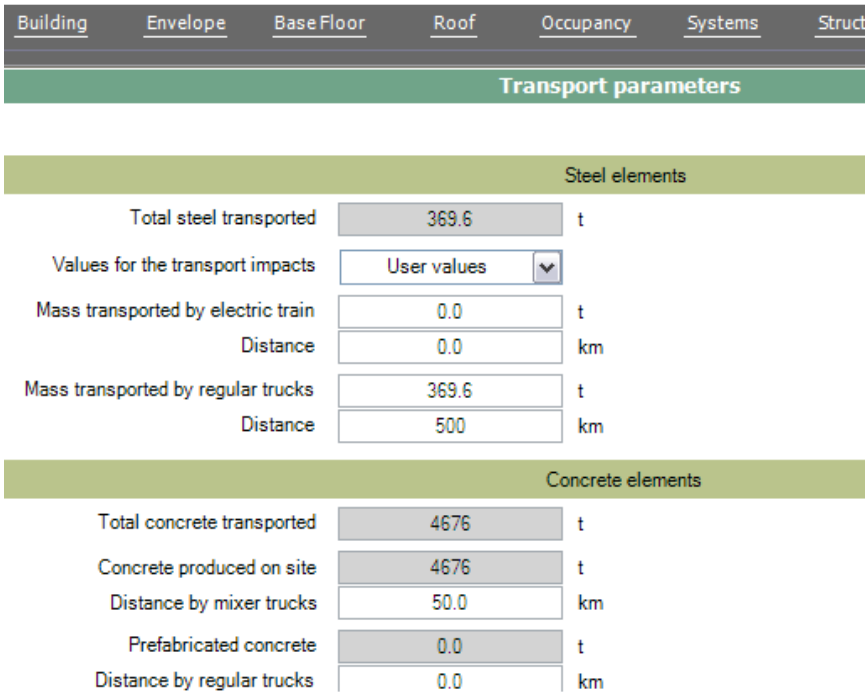
File Modifica Visualizza Opzioni ?

Progetto Edificio Involucro Piano terra Copertura Destinazione d'uso Impianti Struttura Solai

Solaio

Componenti in acciaio		
Tipologia di solaio	Solaio misto	
Lamiera grecata	Cofraplus 60	
Spessore della lamiera	0.750	mm
Peso della lamiera a m2	8.53	kg/m²
Peso della lamiera dell'intero edificio	70.6	t
Altezza minima del solaio	100	mm
Componenti in calcestruzzo		
Altezza totale del solaio	150.0	mm
Tipo di calcestruzzo	Gettato in opera	
Classe del calcestruzzo	C30/37	
Peso totale del solaio in calcestruzzo	2735	t
Armatura in acciaio	0.0	t
Peso totale dei solai	2805	t

⇨ *Dati per il trasporto degli elementi (Modulo A)*



7.1.3.2 Risultati del calcolo con AMECO3

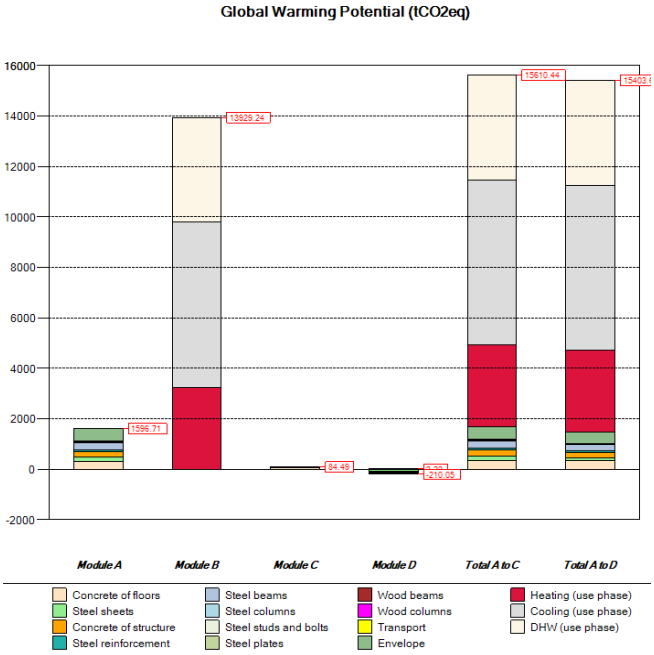
Edificio 1*: acciaio S355 – nucleo centrale in c.a.*

I risultati per l'impatto Potenziale di riscaldamento globale - GWP (t CO_2eq) sono mostrati in dettaglio nella tabella seguente:

Edificio acciaio S355	Modulo A tCO_2eq	Modulo B tCO2eq	Modulo C tCO2eq	Modulo D tCO2eq	Totale da A a C tCO2eq	Totale da A a D tCO2eq
Acciaio totale	**549,17**	**0**	**4,71**	**-148,78**	**553,88**	**405,1**
Travi	276,92	0	1,38	-40,71	278,3	237,59
Colonne	0	0	0	0	0	0
Piatti di connessione	36,84	0	0,09	-19,66	36,93	17,27
Armature	54,93	0	2,8	3,22	57,73	60,95
Lamiere grecate	180,48	0	0,44	-91,63	180,92	89,29
Cls totale	**520,77**	**0**	**63,22**	**-3,51**	**583,99**	**580,48**
Cls struttura	216,19	0	23,02	-2,74	239,21	236,47
Cls solai	304,58	0	40,2	-0,77	344,78	344,01
Involucro	**489,99**	**0**	**16,55**	**-54,54**	**506,54**	**452**
Fase d'uso totale	**0**	**13929,24**	**0**	**0**	**13929,24**	**13929,24**
Riscaldamento	0	3233,37	0		3233,37	3233,37
Raffrescamento	0	6543,84	0		6543,84	6543,84
ACS	0	4152,03	0		4152,03	4152,03
Trasporto	**36,78**	**0**	**0**		**36,78**	**36,78**
Impatto totale del modulo	**1596,71**	**13929,24**	**84,48**	**-206,83**	**15610,43**	**15403,6**

Analizzando tali risultati risulta evidente che il Modulo B, ossia la Fase d'uso dell'edificio, presenta valori degli impatti predominanti rispetto agli altri moduli.

I risultati relativi al Potenziale di Riscaldamento Globale - GWP (t CO_2eq) sono indicati graficamente nel seguente diagramma a barre:



Edificio 2: struttura e nucleo in cemento armato

I risultati per l'impatto Potenziale di Riscaldamento Globale - GWP (tCO2eq) sono mostrati in dettaglio nella tabella seguente:

Edificio acciaio S355	Modulo A tCO_2eq	Modulo B tCO2eq	Modulo C tCO2eq	Modulo D tCO2eq	Totale da A a C tCO2eq	Totale da A a D tCO2eq
Acciaio totale	**128,45**	**0**	**6,55**	**7,54**	**135**	**142,54**
Travi	0	0	0	0	0	0
Colonne	0	0	0	0	0	0
Piatti di connessione	0	0	0	0	0	0
Armature	128,45	0	6,55	7,54	135	142,54
Lamiere grecate	0	0	0	0	0	0
Cls totale	**1078,55**	**0**	**133,44**	**-6,28**	**1211,99**	**1205,71**
Cls struttura	349,74	0	37,24	-4,43	386,98	382,55
Cls solai	728,81	0	96,2	-1,85	825,01	823,16
Involucro	**489,99**	**0**	**16,55**	**-54,54**	**506,54**	**452**
Fase d'uso totale	**0**	**13929,24**	**0**	**0**	**13929,24**	**13929,24**
Riscaldamento		3233,37			3233,37	3233,37
Raffrescamento		6543,84			6543,84	6543,84
ACS		4152,03			4152,03	4152,03
Trasporto	**60,56**	**0**	**0**	**0**	**60,56**	**60,56**
Impatto totale del modulo	**1757,55**	**13929,24**	**156,54**	**-53,28**	**15843,33**	**15790,05**

Edificio 3: struttura e nucleo in acciaio S460

I risultati relativi all'impatto Potenziale di Riscaldamneto Globale - GWP (tCO2eq) sono illustrati in dettaglio nella tabella seguente:

Edificio uffici - acciaio S460	**Modulo A** tCO_2eq	**Modulo B** tCO2eq	**Modulo C** tCO2eq	**Modulo D** tCO2eq	**Totale da A a C** tCO2eq	**Totale da A a D** tCO2eq
Acciaio totale	**559.6**	0	**3.15**	**-160.09**	**562.75**	**402.66**
Travi	227.51	0	1.13	-33.44	228.64	195.2
Colonne	87.1	0	0.43	-12.8	87.53	74.73
Piastre connessione	43.91	0	0.1	-23.43	44.01	20.58
Armature	20.6	0	1.05	1.21	21.65	22.86
Lamiere grecate	180.48	0	0.44	-91.63	180.92	89.29
Cls totale	**304.58**	**0**	**40.2**	**-0.77**	**344.78**	**344.01**
Cls struttura	0	0	0	0	0	0
Cls solai	304.58	0	40.2	-0.77	344.78	344.01
Involucro	**489.99**	0	**16.55**	**-54.54**	**506.54**	**452**
Fase d'uso totale	**0**	**13929.24**	**0**	**0**	**13929.24**	**13929.24**
Riscaldamento	0	3233.37	0	0	3233.37	3233.37
Raffrescamento	0	6543.84	0	0	6543.84	6543.84
ACS	0	4152.03	0	0	4152.03	4152.03
Trasporto	**25.31**	**0**	**0**	**0**	**25.31**	**25.31**
Impatto totale del modulo	**1379.48**	**13929.24**	**59.9**	**-215.4**	**15368.62**	**15153.22**

Osservando i valori, ottenuti con la valutazione degli impatti ambientali, si nota che il Modulo B, ossia la fase d'uso dell'edificio, è predominante rispetto agli altri moduli. Inoltre la fase d'uso non dipende dal tipo di materiale utilizzato (cemento armato o acciaio) per la struttura dell'edificio.
Questi risultati mostrano che la struttura ha un'influenza molto scarsa sugli impatti ambientali globali dell'edificio, rispetto all'attività svolta negli edifici durante la fase di esercizio.
Per questo motivo i confronti successivi saranno condotti trascurando la fase d'uso dell'edificio, così da mettere in evidenza in che modo il tipo di edificio influenza realmente gli impatti ambientali.

Nella figura seguente (Figura 44) è mostrato il confronto tra l'edificio in cemento armato e la soluzione ottimizzata in acciaio.

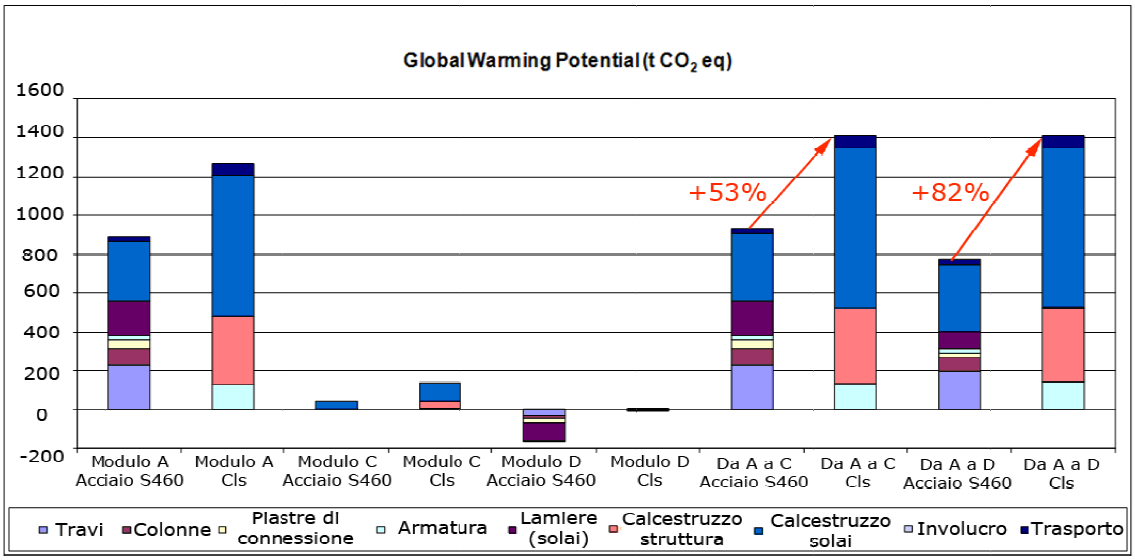


Figura 44: Confronto dei risultati tra la struttura in c.a. e quella in acciaio S460

In riferimento alle emissioni di CO_2, i risultati forniti dal software evidenziano una grande differenza tra l'edificio in cemento armato e l'edificio eco-ottimizzato che può raggiungere il valore di 53% in relazione ai risultati dal modulo A al modulo C, senza fare riferimento alla fase di riciclo. Se se si considerano il riciclo dell'acciaio e la valorizzazione del calcestruzzo demolito, tale differenza raggiunge il valore di 82%.

Questo studio sottolinea i grandi vantaggi assicurati dalle strutture miste acciaio – calcestruzzo nell'ambito dell'impronta ambientale. Tale vantaggio è dovuto principalmente alla leggerezza delle strutture miste in quanto una progettazione che minimizzi la quantità di materiale usato, permetterà la riduzione dell'impronta ambientale della struttura degli edifici.
Il riciclo del materiale nella fase di fine vita (riciclo infinito dell'acciaio e valorizzazione del calcestruzzo demolito) rende le strutture più sostenibili; quindi l'uso del Modulo D, in accordo alla norma EN 15804, permette di ottimizzare l'impronta ambientale dell'edificio.

Questo studio ha chiaramente dimostrato che la scelta migliore per la progettazione di strutture per edifici per uffici è la soluzione mista acciaio-calcestruzzo. Questa variante permette di sfruttare al meglio il comportamento strutturale dei due materiali utilizzati, avvalendosi della buona resistenza a compressione del calcestruzzo e a trazione dell'acciaio.

La stessa conclusione può essere perseguita nel caso di strutture in acciaio ad alta resistenza: infatti minimizzando l'uso del materiale, diminuisce l'impatto ambientale totale delle strutture miste.

7.2 Edificio residenziale - CasaBuna in Romania

7.2.1 Descrizione dell'edificio

Casa Bunã è una residenza plurifamiliare, situata in Romania. L'edificio, concepito per quattro famiglie è composto da quattro appartamenti con una superficie netta pari a 55m² (Figura 45). Inoltre la distribuzione interna degli spazi risulta uguale per le quattro abitazioni che si sviluppano su due piani fuori terra.

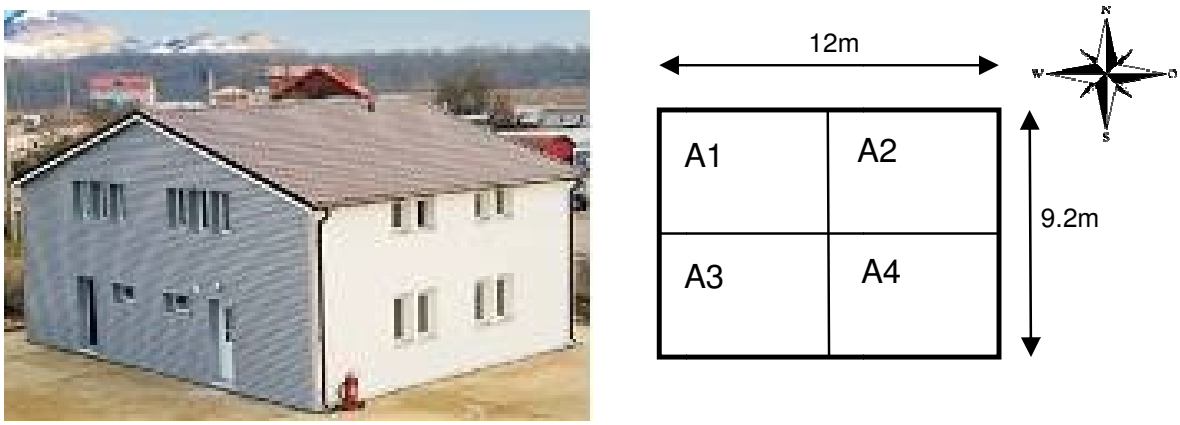


Figura 45: vista di CasaBuna e distribuzione degli appartamenti

L'altezza totale dell'edificio è pari a 6.85 m, misurata nel punto più alto della copertura a spiovente; tuttavia, nel software AMECO3 può essere modellata solo la copertura piana, perciò è stata considerata l'altezza media di ogni piano pari a 2.9m. Una sezione trasversale (Figura 46) e le piante dei due piani (Figura 47) dell'edificio sono mostrate di seguito:

Figura 46: sezione trasversale CasaBuna

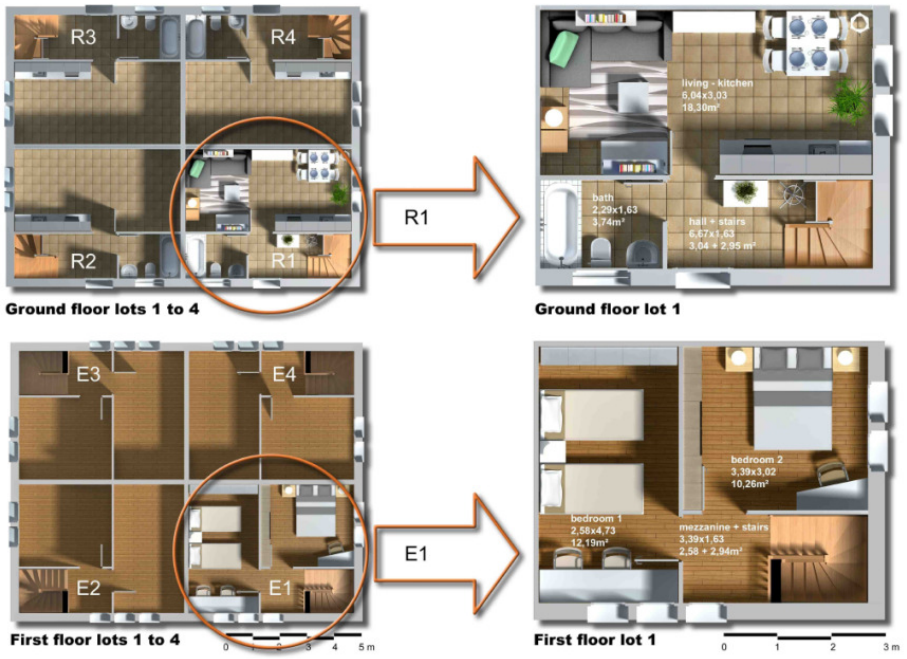


Figura 47: piante piano terra e primo piano con distribuzione degli spazi interni

I valori delle aree dei componenti dell'involucro edilizio sono indicati nella tabella seguente (Tabella 11).

	Nord/Sud [m^2]	**Ovest/Est** [m^2]	**Tot** [m^2]
Pareti	47	41	87
Superfici vetrate	22	12	34
Superfici totali	69	53	122

Tabella 11: Aree delle pareti e delle superfici vetrate

La parete esterna è costituita da una struttura intelaiata in acciaio leggero racchiusa da pannello OSB in legno, 120 mm di materiale isolante in lana di roccia e pannelli in cartongesso per la finitura interna. L' elemento facciata è mostrato in Figura 48.
Questo componente costituisce un elemento portante; è opportuno specificare che nessun altro elemento strutturale portante viene preso in considerazione nell'edificio.

Il solaio controterra, alto 20 cm, è realizzato in cemento armato e presenta uno strato isolante in polisterene estruso dello spessore di 4 cm. Il peso delle barre di armatura è a pari a 0.7 t. Il piano intermedio, invece, è caratterizzato da solai realizzati con sistemi a secco.

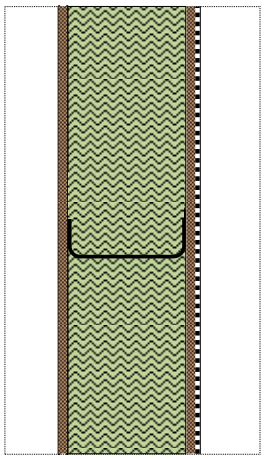


Figura 48: parete

Le finestre, infine, sono costituite da telaio in PVC e doppi vetri a bassa emissività.

La tabella seguente, fornisce i valori di trasmittanza termica U associati ai vari elementi che costituiscono l'edificio.

Pareti	0.30	W/m^{2}K
Copertura piana	0.37	W/m^{2}K
Finestre	1.70	W/m^{2}K
Solaio piano terra	0.60	W/m^{2}K

Inoltre è opportuno indicare i dati relativi alla capacità termica interna dei solai e delle partizioni interne. Questi parametri sono espressi in dettaglio nella tabella seguente:

Solaio piano terra 20 cm di cemento armato + pavimento	74324	J/m²K
Solaio intermedio Linoleum + OSB + lamiera grecata + intercapedine + pannelli cartongesso	32447	J/m²K
Pareti interne Pannelli cartongesso + lana di roccia + LSF + pannelli cartongesso	13081	J/m²K

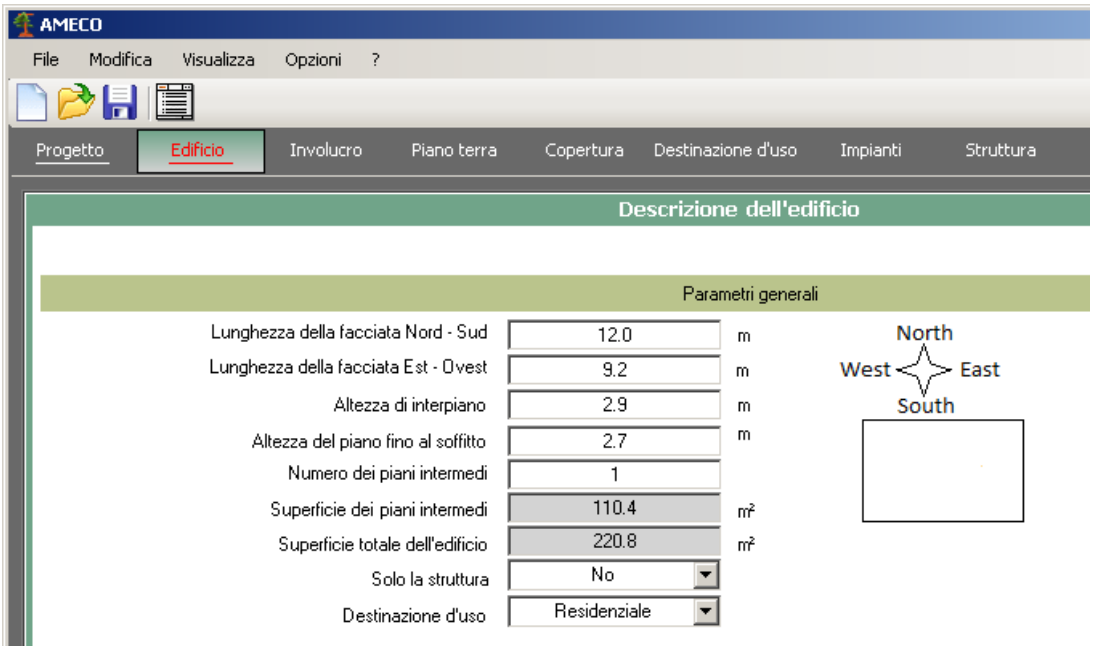
I fabbisogni energetici per il riscaldamento e il raffrescamento sono forniti da impianti basati sul sistema "split", considerando temperature di regolazione, impostate rispettivamente sul valore di 20°C e 25°C. L'edificio è caratterizzato da ventilazione naturale; invece, l'impianto per la produzione di acqua calda sanitaria ad uso domestico è costituito da una caldaia elettrica con un rendimento pari al 90%.

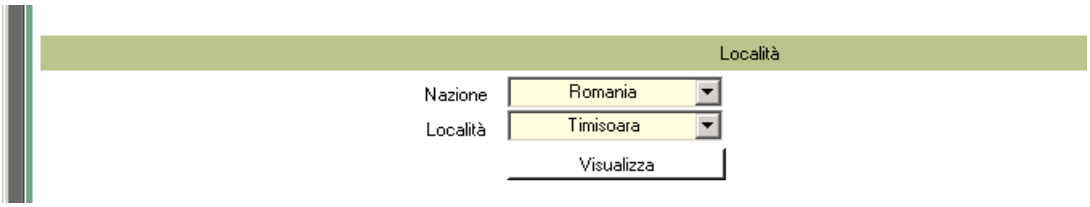
Le fondazioni, le partizioni e le porte sono escluse dal presente studio; anche le lavorazioni di dettaglio come le finiture interne e gli arredi sono state escluse dall'analisi. Solo le dispersioni di calore dovute a ponti termici integrati sono incluse nel calcolo del consumo energetico dell'edificio.

7.2.2 Dati in ingresso nel software AMECO3

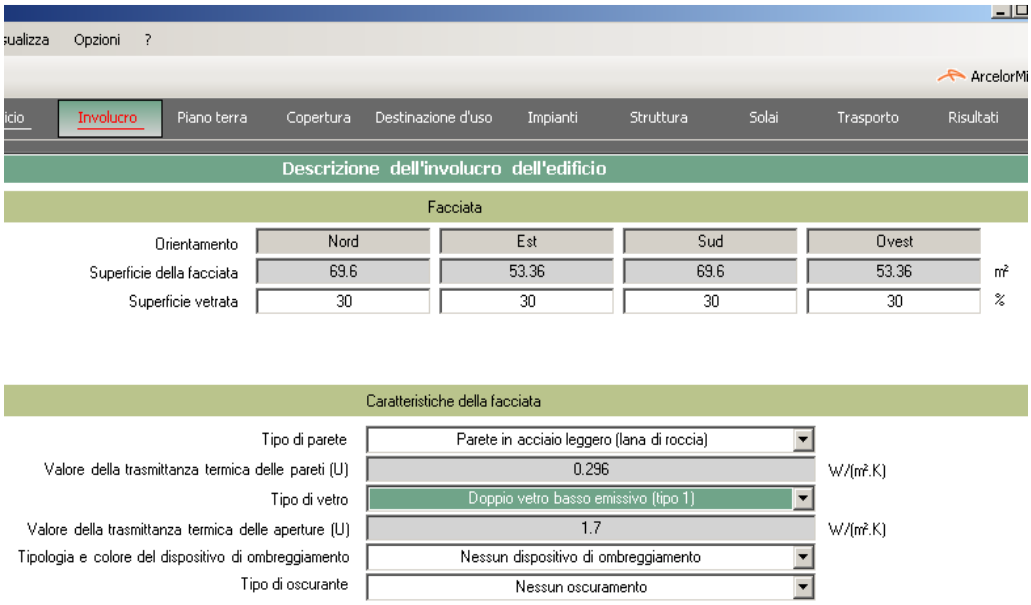
7.2.2.1 Dati generali in ingresso relativi all'edificio residenziale in AMECO3

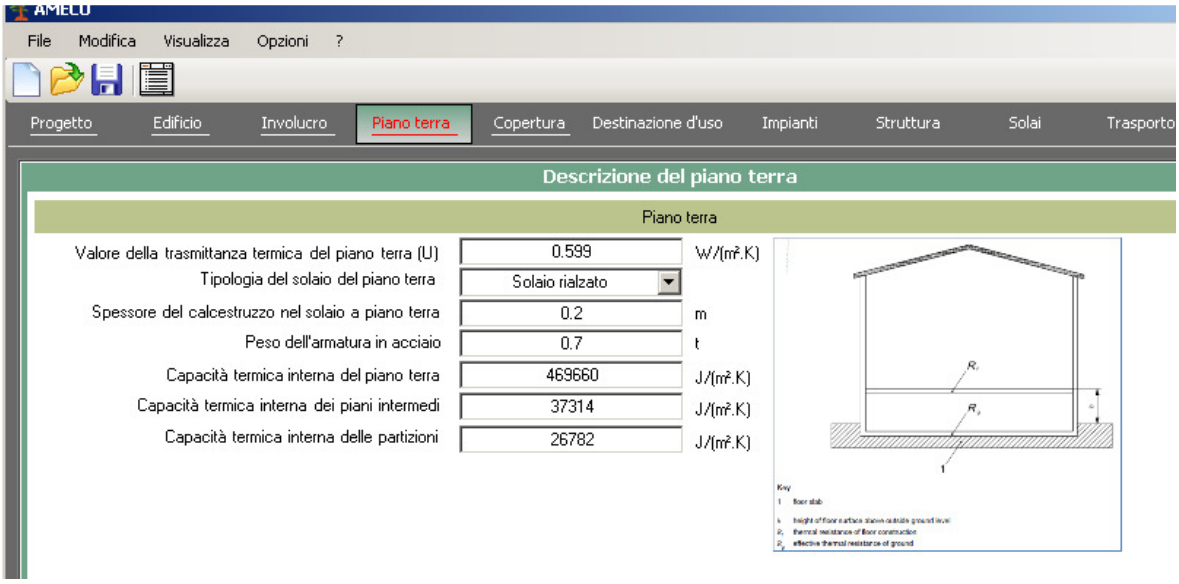
7.2.2.2 Dati in ingersso relativi alla geoemtria (Moduli A-C-D)

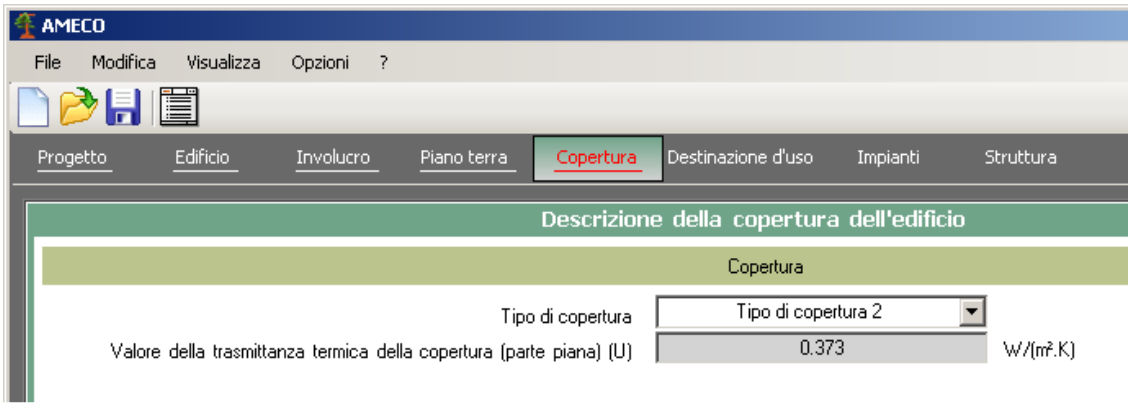




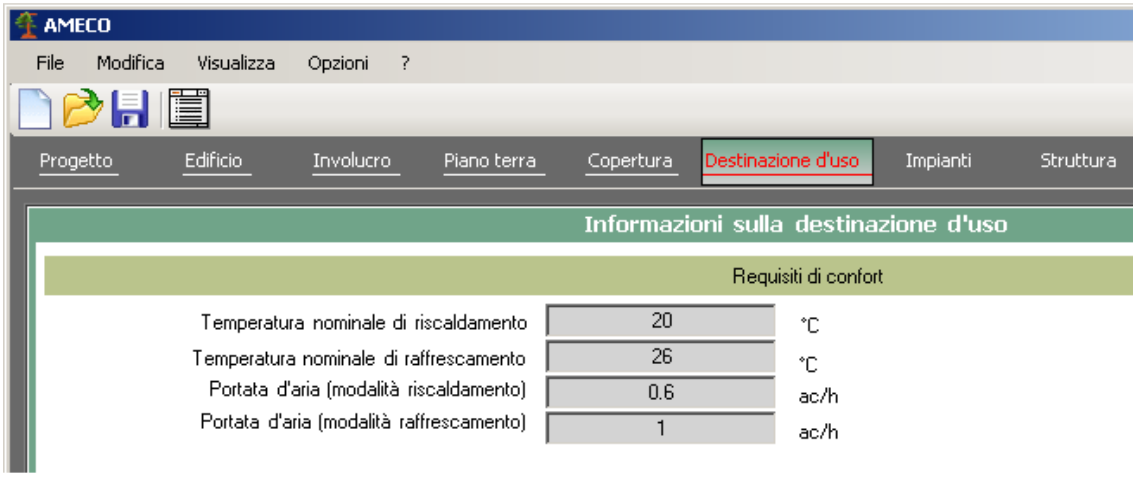
7.2.2.3 Dati in ingresso per i componenti dell'edificio (Moduli A-B-C-D)

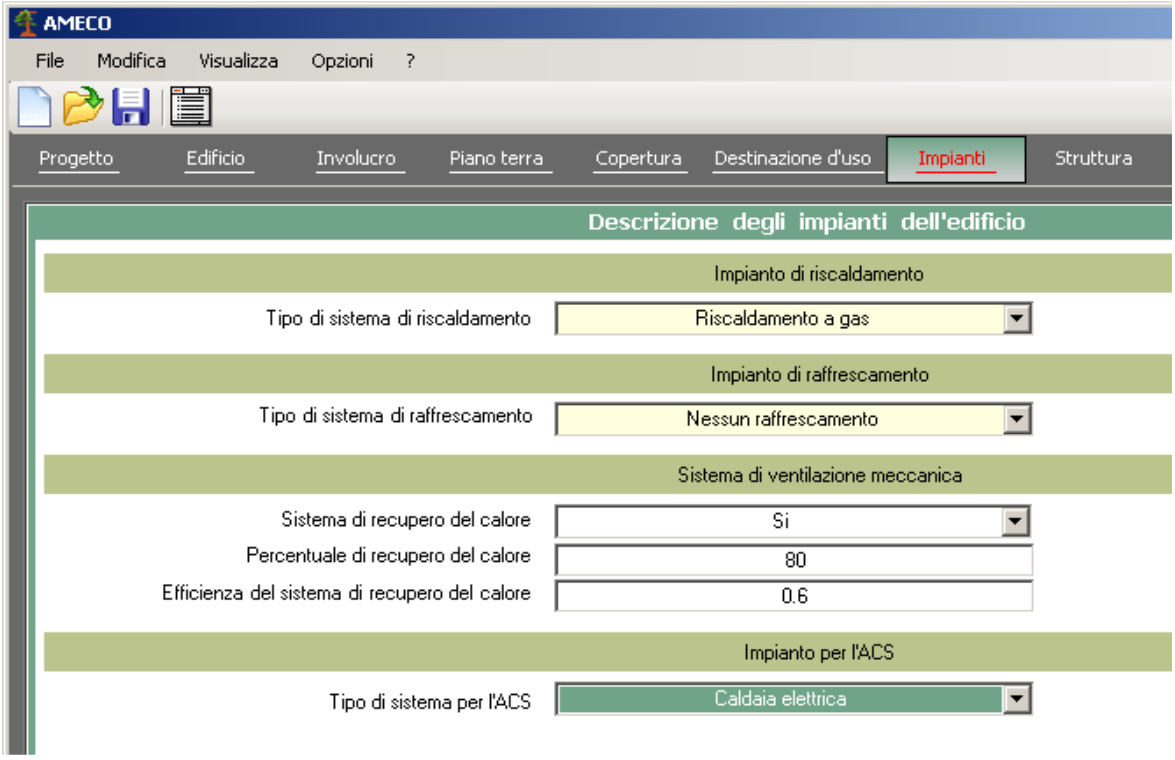




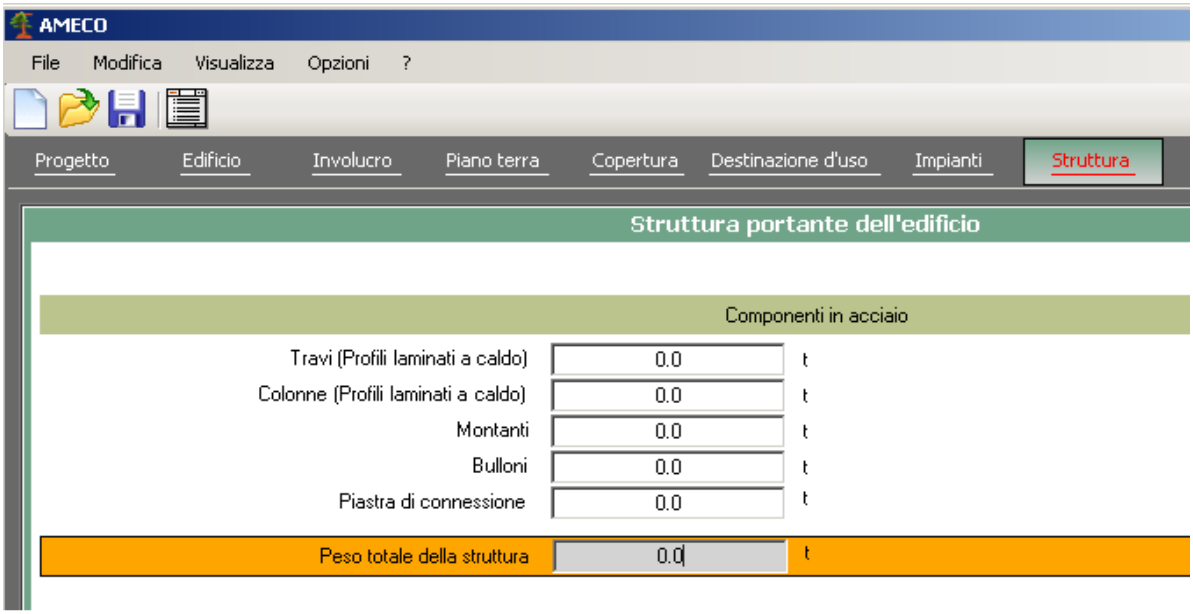


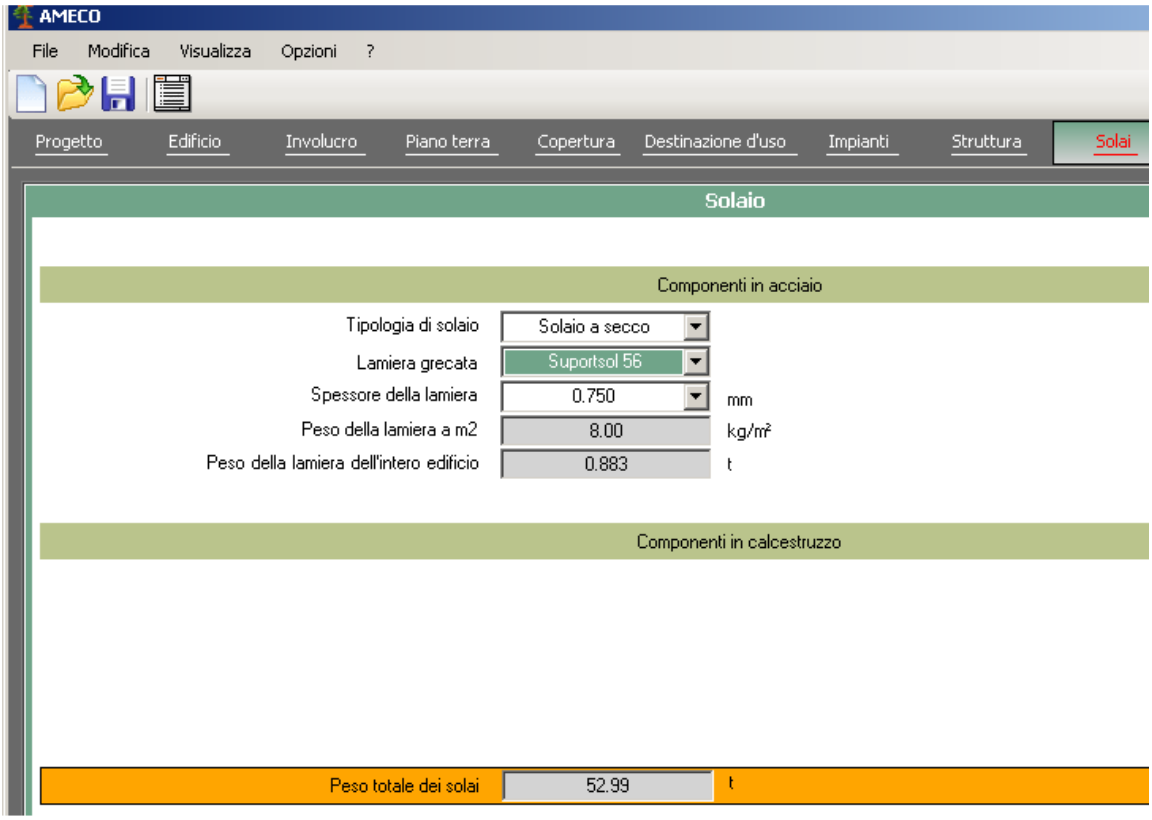
7.2.2.4 Dati in ingresso relativi alla fase d'uso dell'edificio (Modulo B)



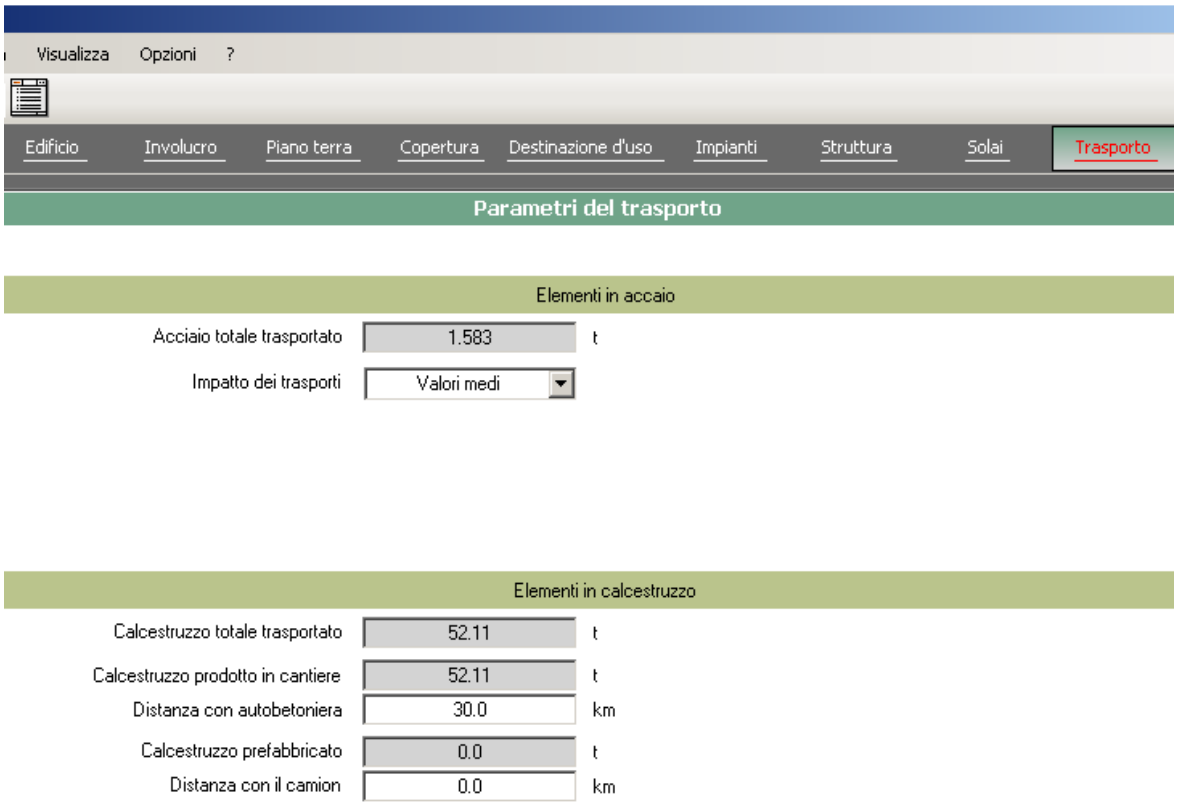


7.2.2.5 Dati generali relativi alla struttura portante dell'edificio (Moduli A-C-D)





7.2.2.6 Dati per il trasposto degli elementi (Modulo A)



7.2.3 Risultati del calcolo condotto con AMECO3

Di seguito si riporta la tabella che sintetizza i risultati relativi a tutti gli impatti prodotti durante l'intero ciclo di vita della residenza CasaBuna:

Modifica la relazione preliminare

Lingua Indice

Sintesi dei risultati per Casa Buna

	Modulo A	Modulo B	Modulo C	Modulo D	Totale di A e C	Totale di A e D
GWP (tCO2eq)	44.85	4099.01	2.49	-4.68	4146.35	4141.68
ODP (tCFCeq)	5.21E-07	1.98E-06	1.68E-07	9.37E-08	2.67E-06	2.76E-06
AP (tSO2eq)	1.78E-01	1.61E01	6.86E-03	-1.39E-02	1.63E01	1.63E01
EP (tPO4eq)	1.86E-02	8.20E-01	1.80E-03	-4.69E-04	8.41E-01	8.40E-01
POCP (tEtheneeq)	1.72E-02	2.17E00	1.19E-03	-2.72E-03	2.19E00	2.18E00
ADP-e (tSbeq)	1.11E-04	8.11E-04	1.06E-06	-4.17E-05	9.24E-04	8.82E-04
ADP-ff (GJ NCV)	454.15	271719.89	19.19	-72.25	272193.23	272120.98
RPE (GJ NCV)	284.59	6387.02	3.81	-60.89	6675.42	6614.53
RER (GJ NCV)	75.64	0.00	0.24	1.67	75.88	77.55
RPE-total (GJ NCV)	9.14	6387.02	0.37	0.59	6396.53	6397.12
Non-RPE (GJ NCV)	190.10	42297.62	17.40	-11.15	42505.11	42493.96
Non-RER (GJ NCV)	1.13	229518.76	0.00	0.00	229519.89	229519.89
Non-RPE-total (GJ NCV)	191.23	271816.38	17.40	-11.15	272025.00	272013.85
SM (t)	52.68	0.00	0.00	0.00	52.68	52.68
RSF (GJ NCV)	1.79	2.25	0.00	0.00	4.05	4.05
Non-RSF (GJ NCV)	18.88	23.68	0.00	0.00	42.56	42.56
NFW (1000 m3)	1280.15	8303.04	139.42	-30.21	9722.62	9692.40
HWD (t)	5.94E-04	0.00E00	0.00E00	-1.17E-05	5.94E-04	5.82E-04
Non-HWD (t)	45.01	8701.15	2.06	-3.07	8748.22	8745.15
RWD (t)	4.13E-03	5.62E00	6.48E-06	-3.93E-04	5.62E00	5.62E00
CR (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MR (t)	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

LVS3 11/39 Italiano Foglio dettagliato

I risultati ottenuti evidenziano che la fase d'uso è predominante in relazione a tutte le categorie di impatto.

In particolare il diagramma a barre, riportato di seguito, in cui è mostrato l'impatto relativo al Potenziale di Riscaldamento Globale - GWP, dimostra che la fase d'uso provoca più del 99% dell'impatto GWP totale (dal modulo A a D) dell'edificio (Figura 49). Gli impatti dovuti al sistema strutturale sono quasi trascurabili.

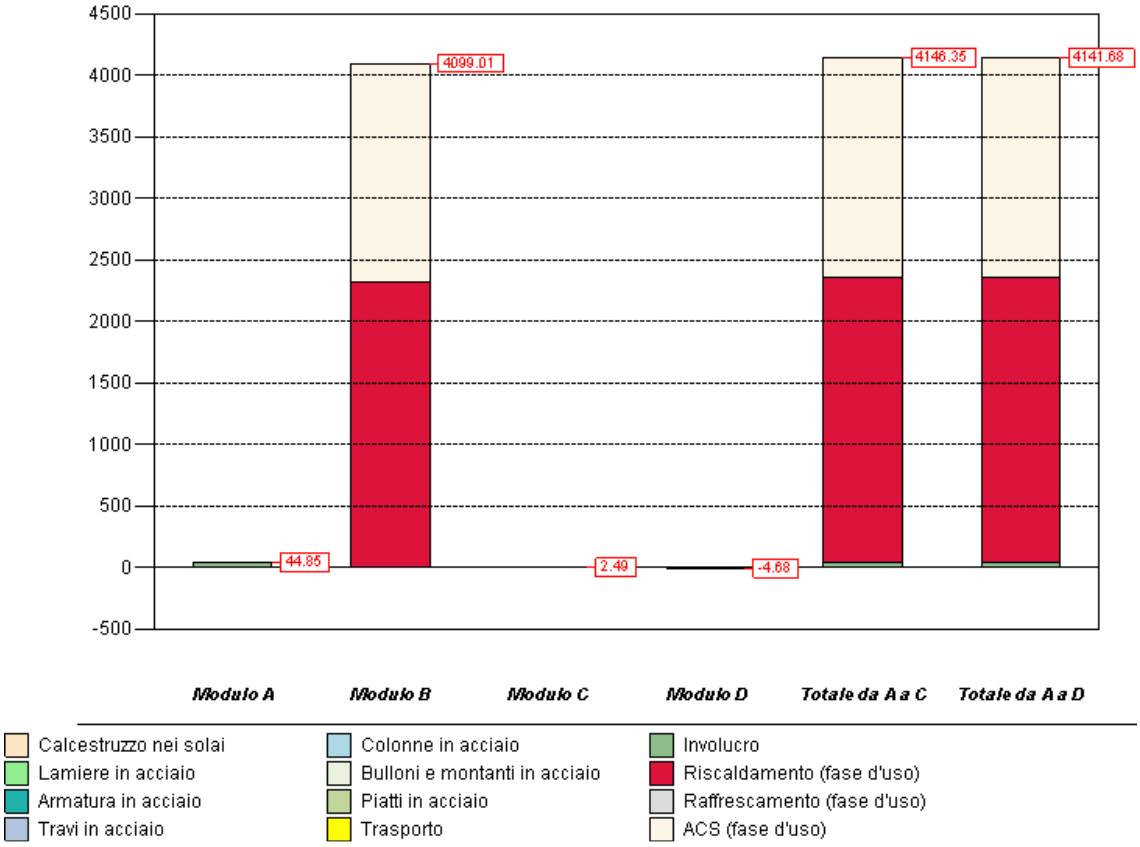


Figura 49: diagramma a barre relativo all'impatto GWP

Casa Buna		GWP (tCO2eq)
Modulo A	Calcestruzzo impiegato nei solai	5.80
	Lamiere in acciaio	2.26
	Armatura in acciaio	0.87
	Travi in acciaio	0.00
	Colonne in acciaio	0.00
	Montanti e bulloni in acciaio	0.00
	Piastra di connessione	0.00
	Trasporto	0.23
	Involucro	35.70
	Modulo A	**44.85**
Modulo B	Fabbisogno di energia per il riscaldamento degli ambienti	2315.82
	Fabbisogno di energia per il raffrescamento degli ambienti	0.00
	Fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria ad uso domestico	1783.18
	Modulo B	**4099.01**
Modulo C	Calcestruzzo impiegato nei solai	0.77
	Lamiere in acciaio	0.01
	Armatura in acciaio	0.04
	Travi in acciaio	0.00
	Colonne in acciaio	0.00
	Montanti e bulloni in acciaio	0.00
	Piastra di connessione	0.00
	Trasporto	0.00
	Involucro	1.67
	Modulo C	**2.49**
Modulo D	**Modulo D**	**-4.68**
Totale da A a C	**Totale da A a C**	**4146.35**
Totale da A a D	**Totale da A a D**	**4141.68**

Se si pone l'attenzione sugli impatti GWP relativi alla sola fase di produzione dei materiali (Modulo A), è possibile notare che il 79% dell'impatto totale è dovuto agli elementi che costituiscono l'involucro edilizio, includendo pareti esterne, copertura e finestre (Figura 50).

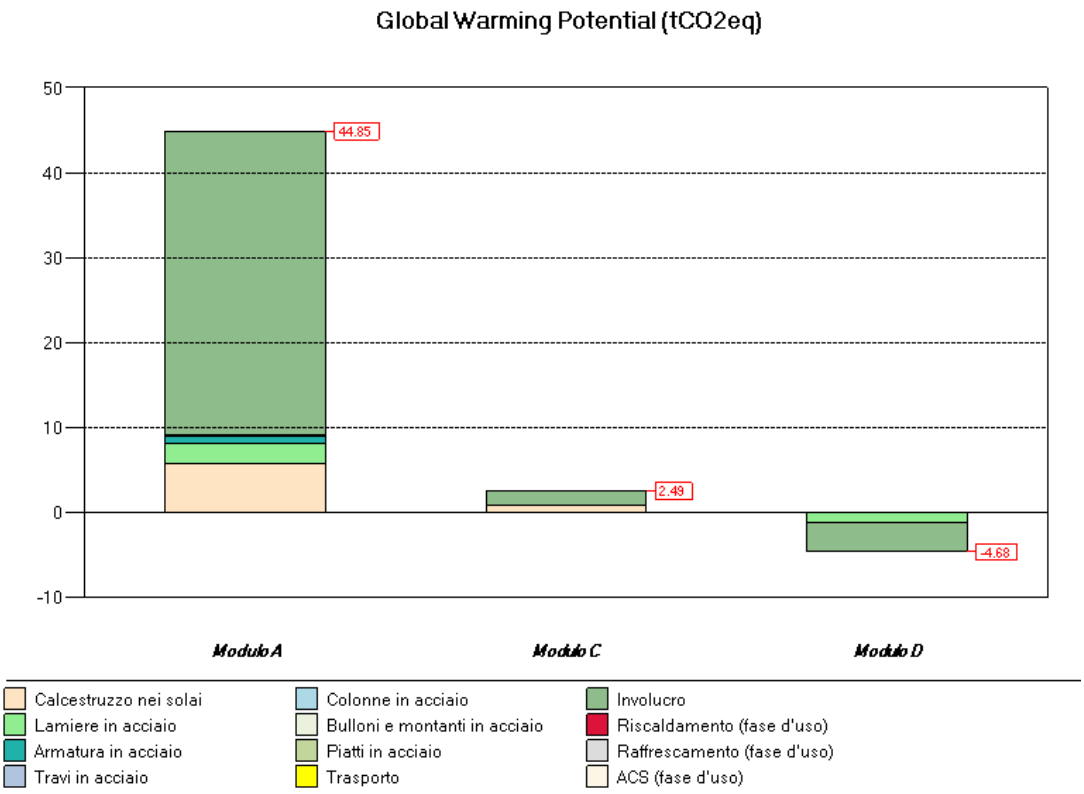


Figura 50: diagramma a barre relativo all'impatto GWP dei moduli A - C - D

Il consumo di energia dell'edificio risulta pari a 15.6 kWh/m²anno.

Fase d'uso del riscaldamento

Energia impiegata per il riscalmento dell'ambiente					
Trasmissione di calore attraverso scambio termico					
Pareti	Vetrate	Piani fuori terra	Copertura	Terreno	Totale
kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno
4119.0	10138.4	0.0	3328.8	1905.7	19328.2

Trasmissione termica attraverso ventilazione	Guadagni termici		
Ventilazione	Vetrate	Opache	Interno
kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno
4661.1	24013.7	725.2	15899.0

Energia necessaria per il riscaldamento												
Qh,nd	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
kWh	1507.5	736.9	133.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	398.8	1384.9
kWh/m²	6.8	3.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	6.3

Abbattimento dei consumi di energia		
Energia totale per il riscaldamento dell'edificio		
Energia necessaria	4161.2	kWh/anno
	18.8	kWh/m²/anno
Energia erogata	4783.0	kWh/anno
COP : 0.87	21.7	kWh/m²/anno
Primaria	411.3	kgoe/anno
fconv : 0.086	1.9	kgoe/m²/anno

7.3 Capannone industriale

7.3.1 Scopo dello studio

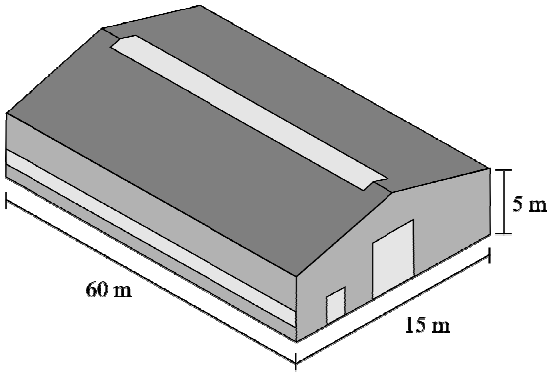
L'obiettivo del seguente studio è la valutazione e il confronto degli impatti ambientali di un edificio industriale, considerando due sistemi strutturali differenti:

- telaio incernierato alla base, composto da profili laminati a caldo
- pilastri incastrati alla base, travi incernierate, composto da pilastri & travi in cemento armato

Inoltre, in relazione al calcolo del sistema strutturale in acciaio, sono stati considerati due gradi diversi dell'acciaio.

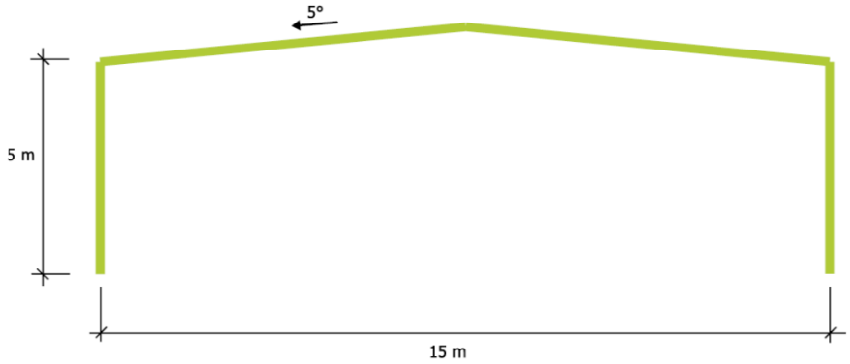
7.3.2 Descrizione dell'edificio

L'edificio monopiano oggetto di studio è un capannone industriale con una superficie di 900 m², come mostrato nella figura seguente:



7.3.3 Sistema strutturale

La luce del portale strutturale è pari a 5 m e le campate tra ogni portale misurano 6 m. L'altezza di gronda è pari a 5 m e la pendenza della copertura a 5°, come mostrato in figura:



Le componenti strutturali per le tre soluzioni sono descritte in dettaglio nella tabella seguente:

Componente strutturale	Ipotesi 1 Telaio in acciaio S235	Ipotesi 2 Telaio in acciaio S460	Ipotesi 3 Telaio in cemento armato
Travi	IPE 450	IPE 330	Cls prefabbricato unit T80
			Armatura BSt500 202.5 kg/m³
Colonne	Principale: IPE400 Secondaria : HEA480	Principale: IPE400 Secondaria : HEA480	Sezione in cls 0.4x0.4m C30/37
			Armatura BSt500 108.1 kg/m³

Di seguito si riporta il sistema strutturale in acciaio.

Gli edifici sono stati progettati considerando la regione climatica di Parigi.

Il piano terra è costituito da solaio controterra in cemento armato con isolamento di bordo.

Le quantità di materiale utilizzato per i diversi sistemi strutturali sono indicate in dettaglio nella tabella seguente:

Componente strutturale	Ipotesi 1 Telaio in acciaio S235	Ipotesi 2 Telaio in acciaio S460	Ipotesi 3 Telaio in cemento armato
Travi	6.88 t	4.33 t	Cls: 34.19 t
			Armatura: 2.93 t
Colonne	4.17 t	4.17 t	Cls: 30.12 t
			Armatura: 1.38 t
Montanti	/	/	/
Bulloni	43 kg	43 kg	/
Piatti di connessione	336 kg	336 kg	/
Solaio piano terra	Cls: 425.7 kg	Cls: 425.7 kg	Cls: 425.7 kg
	14.4 t	14.4 t	14.4 t

7.3.4 Componenti dell'involucro edilizio

La facciata è caratterizzata da un pannello sandwich dello spessore di 80 mm, anche se tale spessore verrà incrementato considerando un pannello di 200 mm, in modo da valutare l'influenza di questo parametro sui risultati ambientali.
La copertura a spiovente (pendenza pari a 5°) è realizzata in lamiera grecata dello spessore di 1mm e materiale isolante in lana minerale dello spessore di 140mm.
Le finestre sono realizzate con telaio in alluminio e doppi vetri.

La tabella seguente fornisce i valori della trasmittanza termica U degli elementi che compongono l'edificio:

Pareti: PU panelli sandwich **Spessore: 80mm** **Spessore: 200mm**	 0.33 0.12	 W/m^2.K
Copertura	0.31	W/m^2.K
Finestre	2.6	W/m^2.K
Solaio piano terra	0.44	W/m^2.K

La capacità termica interna degli elementi che caratterizzano l'involucro edilizio è indicata nella tabella seguente:

Solaio piano terra Altezza 20 cm	 460000	 J/m²K
Solai intermedi	0	J/m²K
Pareti interne	0	J/m²K

7.3.5 Impianti HVAC

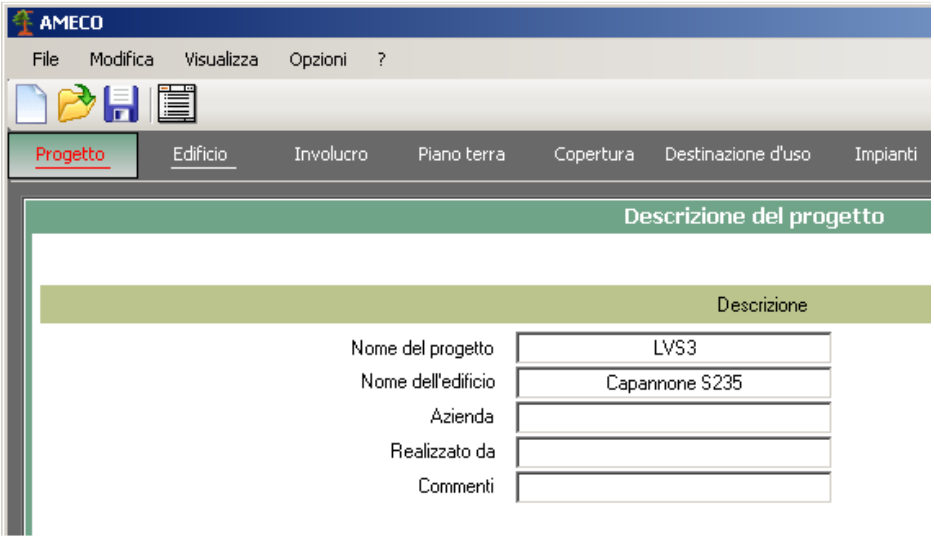
L'impianto di riscaldamento è costituito da un riscaldamento a gas, impostato su una temperatura di regolazione pari a 20°C. L'edificio non presenta un impianto di raffresacmento, nè un sistema di ventilazione meccanica, nè un sistema per la produzione di acqua calda sanitaria ad uso domestico.

7.3.6 Ipotesi principali

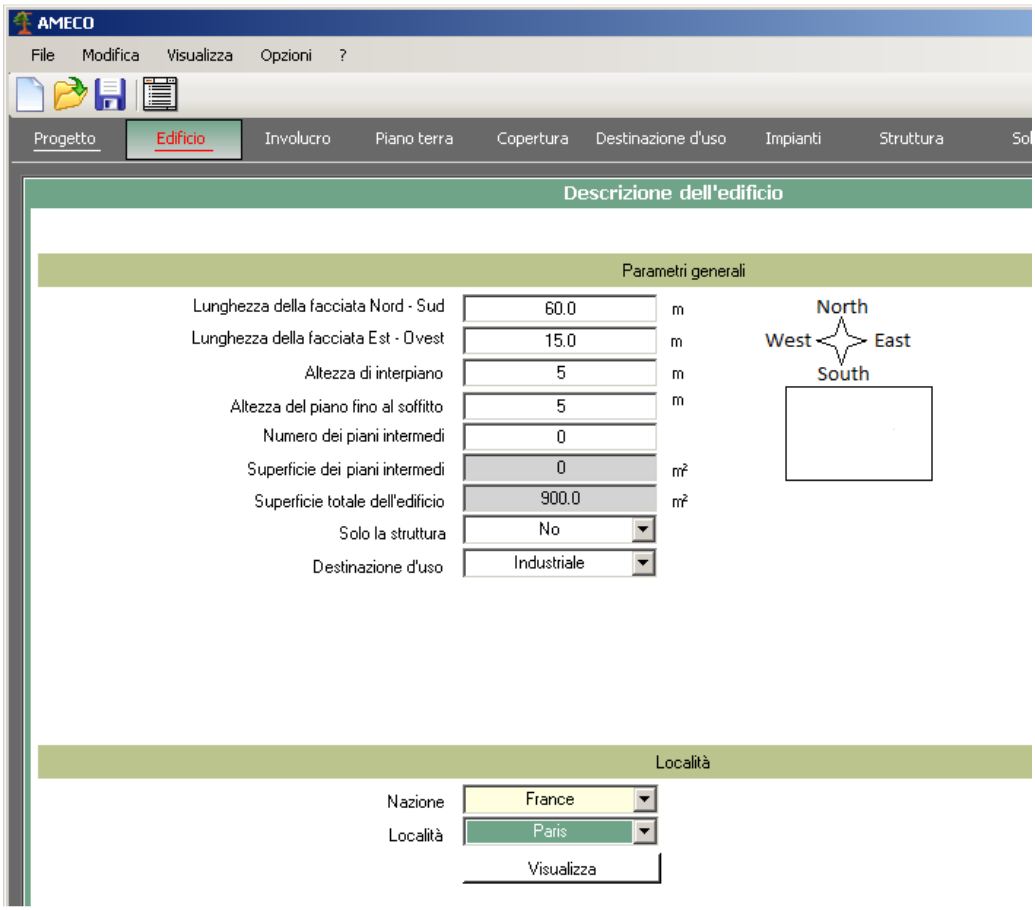
Nel presente studio le fondazioni, le partizioni e le porte, così come le lavorazioni di dettaglio, quali la finitura interna e gli arredi sono stati esclusi dall'analisi. Soltanto ulteriori dispersioni dovute ai ponti termici sono state incluse nel consumo energetico dell'edificio.

7.3.7 Dati in ingresso nel software AMECO3

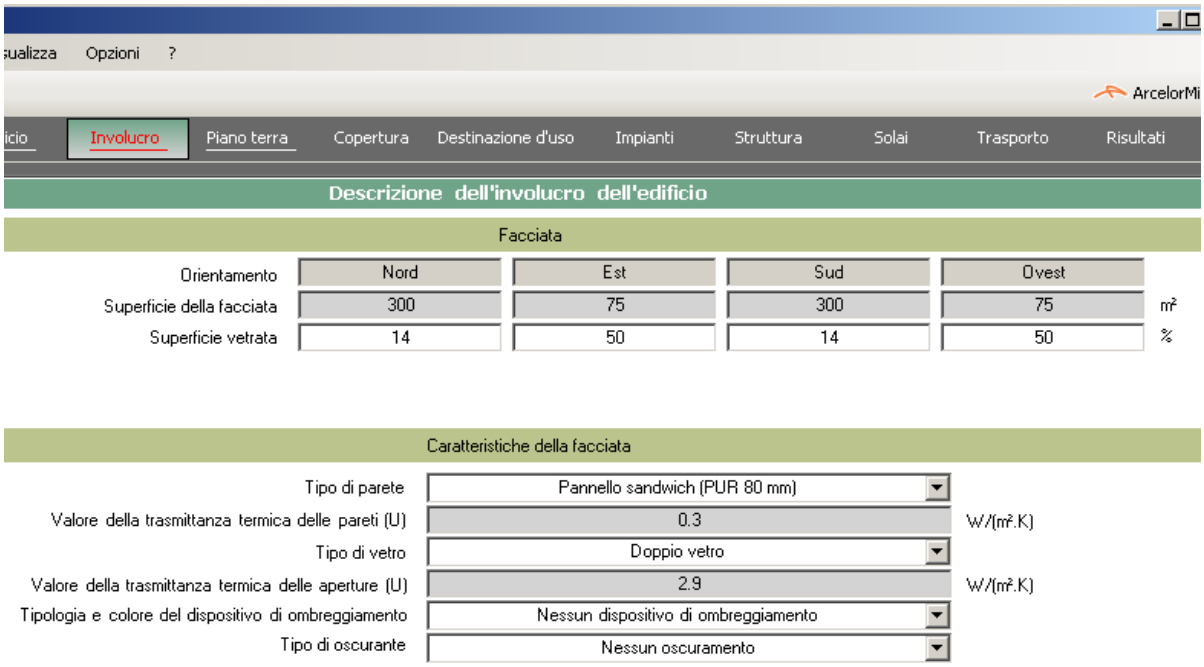
7.3.7.1 Dati generali in ingresso relativi all'edificio industriale in AMECO3

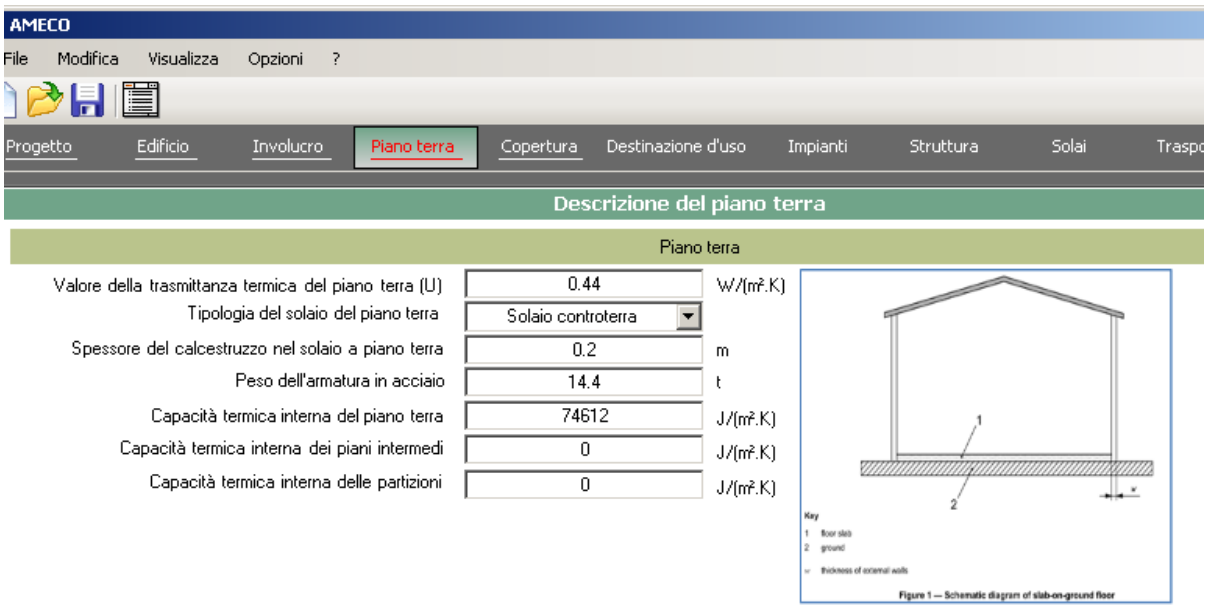


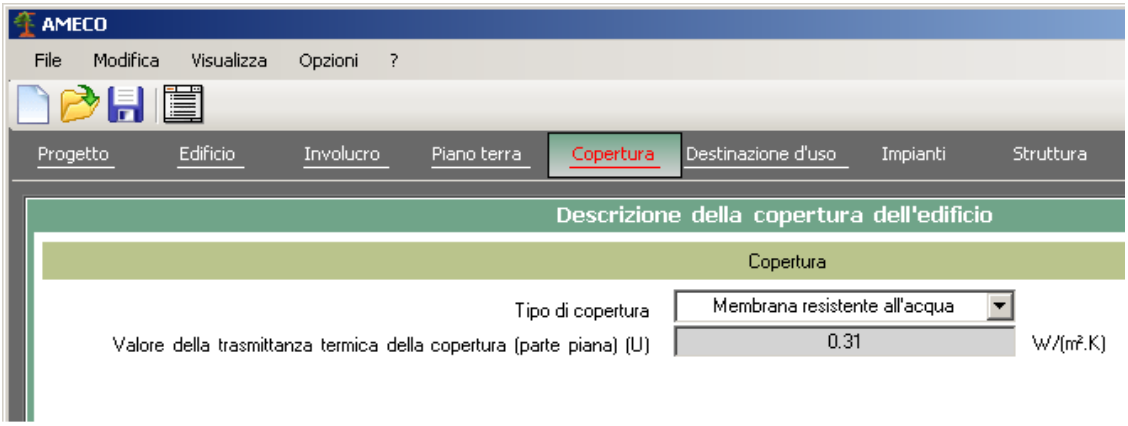
7.3.7.2 Dati in ingresso relativi alla geometria (Moduli A-C-D)



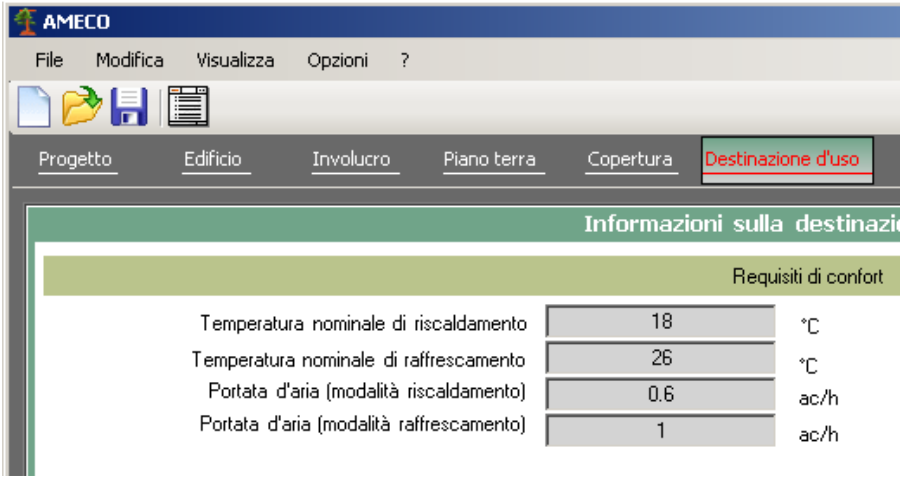
7.3.7.3 Dati in ingresso relativi ai vari componenti dell'edificio (Moduli A-B-C-D)

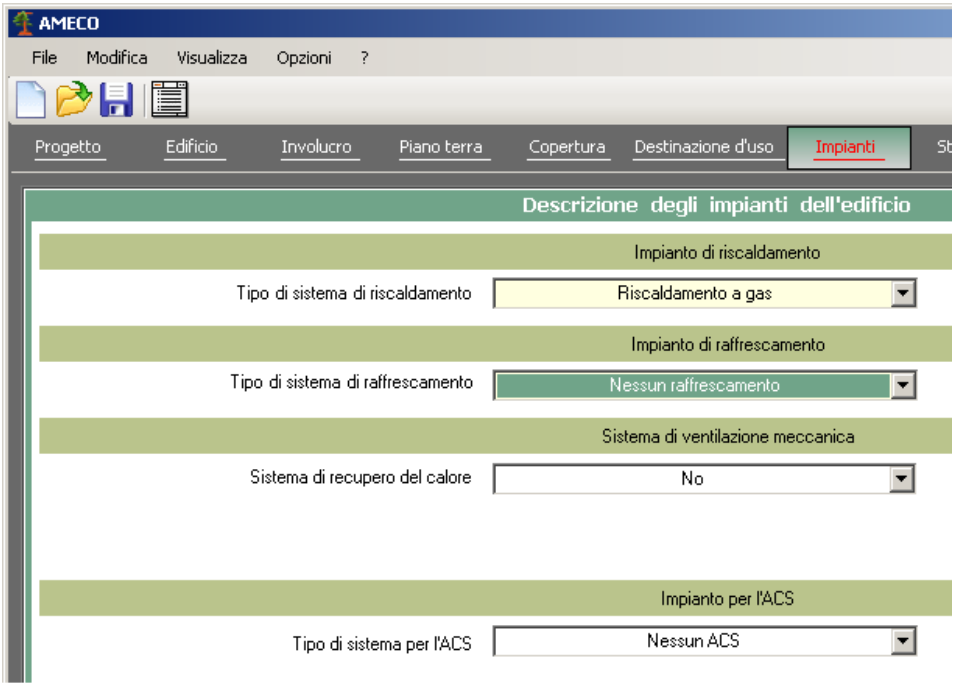






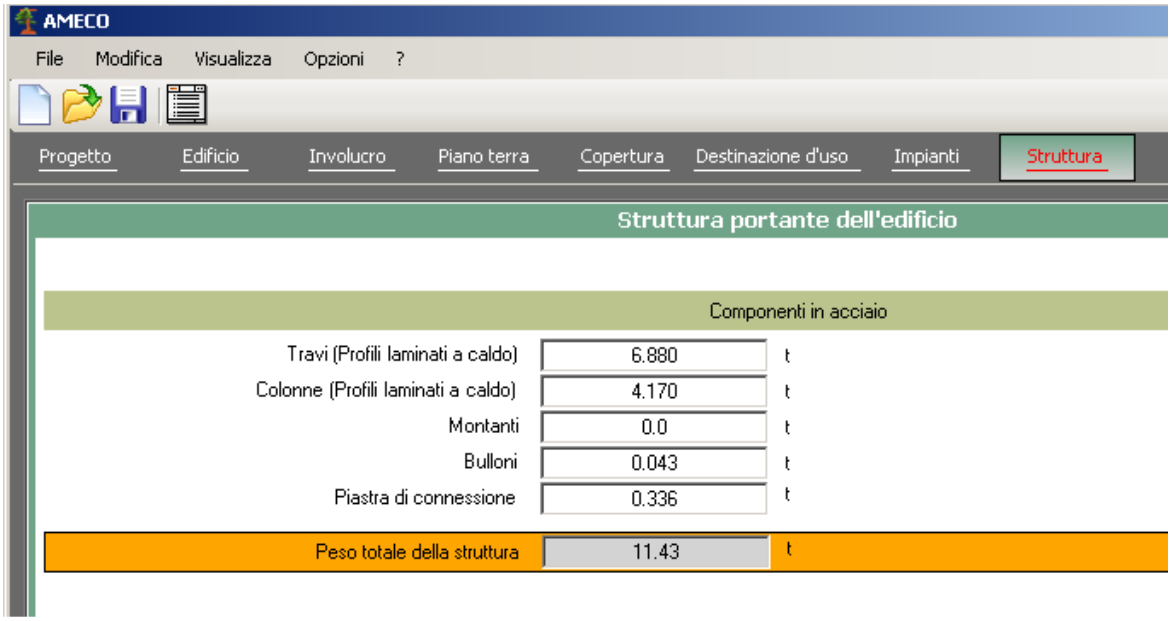
7.3.7.4 Dati in ingresso relativi alla fase d'uso dell'edificio (Modulo B)



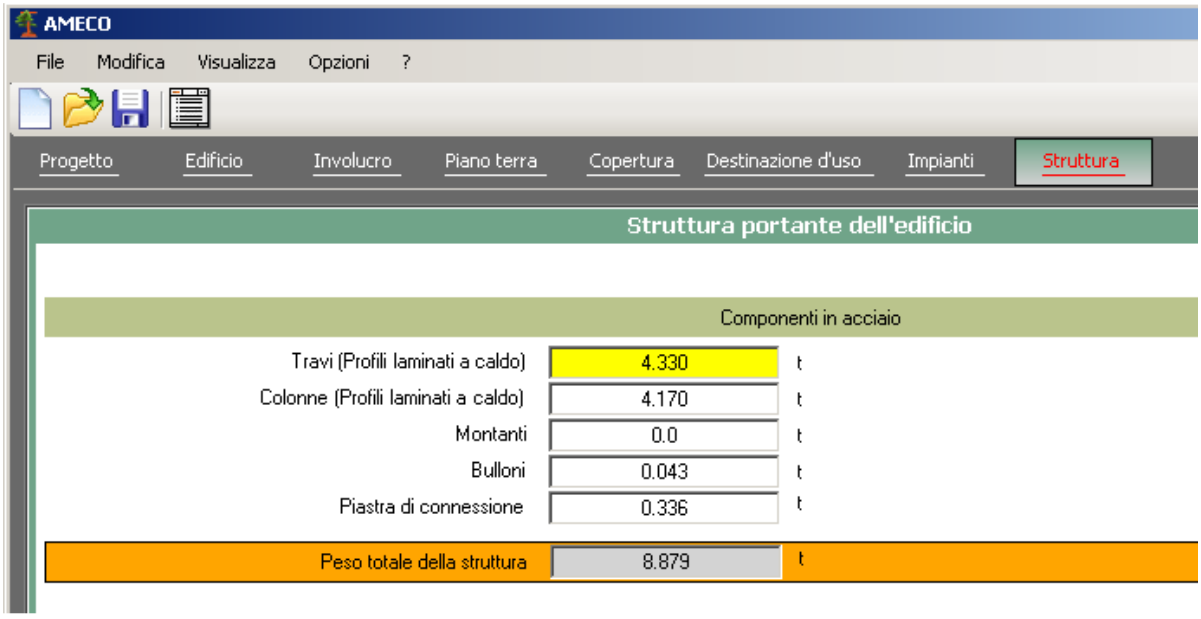


7.3.7.5 Dati generali in relazione alla struttura dell'edificio (Moduli A - C - D)

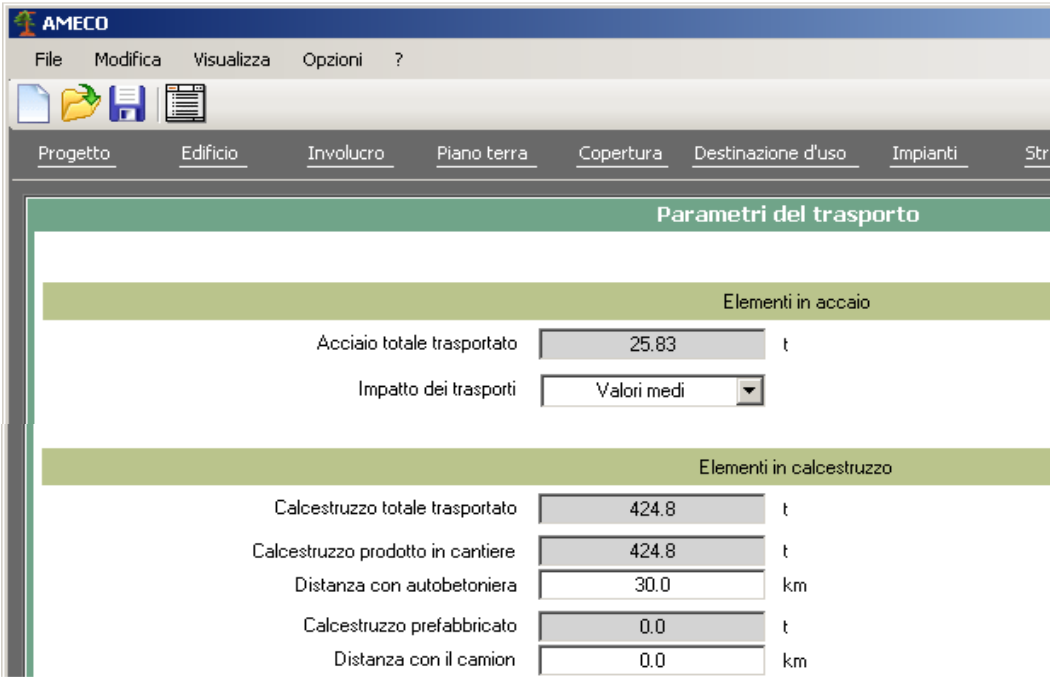
Capannone industriale - acciaio S235:



Capannone industriale - acciaio S460:



7.3.7.6 Dati per il trasporto degli elementi (Modulo A)



7.3.8 Risultati del calcolo condotto con AMECO3

7.3.8.1 Sistema strutturale in acciaio S235

La tabella seguente mostra i risultati per ogni impatto ambientale dell'edificio costituito dal sistema strutturale in acciaio S235.

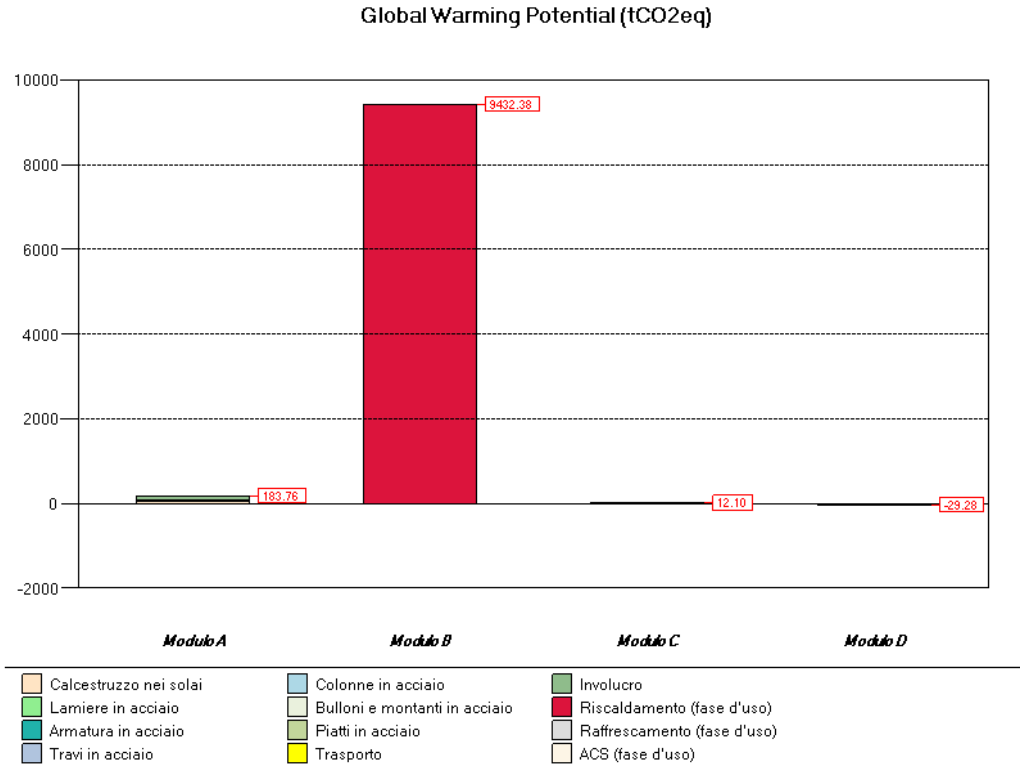
Sintesi dei risultati per Capannone S235

	Modulo A	Modulo B	Modulo C	Modulo D	Totale di A e C	Totale di A e D
GWP (tCO2eq)	183.76	9432.38	12.10	-29.28	9628.25	9598.97
ODP (tCFCeq)	1.09E-06	1.55E-06	1.42E-06	7.58E-07	4.06E-06	4.82E-06
AP (tSO2eq)	5.26E-01	3.14E01	5.03E-02	-7.53E-02	3.19E01	3.19E01
EP (tPO4eq)	6.40E-02	1.53E00	1.69E-02	-2.80E-03	1.61E00	1.61E00
POCP (tEtheneeq)	5.92E-02	6.80E00	8.53E-03	-1.51E-02	6.87E00	6.86E00
ADP-e (tSbeq)	1.75E-03	2.30E-03	8.20E-06	-2.54E-04	4.07E-03	3.81E-03
ADP-ff (GJ NCV)	2041.70	978869.63	138.42	-285.35	981049.75	980764.40
RPE (GJ NCV)	1285.91	4687.50	6.33	-264.44	5979.75	5715.31
RER (GJ NCV)	47.75	0.00	0.00	13.72	47.75	61.47
RPE-total (GJ NCV)	68.65	4687.50	2.91	-0.65	4759.06	4758.41
Non-RPE (GJ NCV)	887.83	98391.18	148.73	-22.75	99427.74	99404.99
Non-RER (GJ NCV)	2.43	880547.69	0.00	0.00	880550.12	880550.12
Non-RPE-total (GJ NCV)	890.26	978938.87	148.73	-22.75	979977.86	979955.11
SM (t)	444.40	0.00	0.00	-0.94	444.40	443.46
RSF (GJ NCV)	14.61	6.56	0.00	0.00	21.18	21.18
Non-RSF (GJ NCV)	153.83	69.05	0.00	0.00	222.88	222.88
NFW (1000 m3)	30396.65	6075.63	157.18	-100.49	36629.47	36528.98
HWD (t)	4.53E-03	0.00E00	0.00E00	-9.19E-05	4.53E-03	4.44E-03
Non-HWD (t)	276.33	6464.29	5.42	-4.14	6746.03	6741.89
RWD (t)	2.37E-02	4.04E00	1.65E-05	-8.53E-04	4.06E00	4.06E00
CR (t)	0.00	0.00	0.00	1.11	0.00	1.11
MR (t)	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

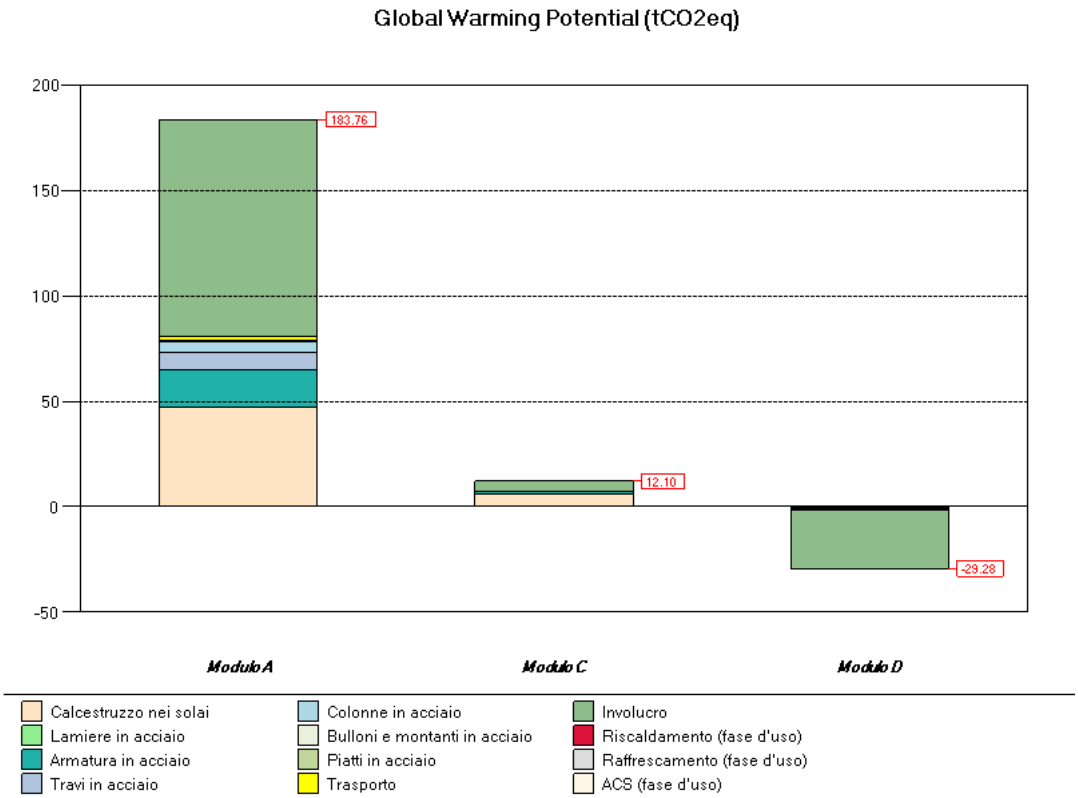
È possibile notare che i risultati relativi al Modulo B sono predominanti per ogni impatto considerato.

I dettagli dell'impatto GWP per ogni tipo di componente dell'edificio incluso il trasporto sono mostrati di seguito.

Il modulo B produce circa il 99% dell'impatto globale GWP (includendo nel calcolo i risultati dal Modulo A al Modulo D) in relazione all'edificio caratterizzato dal sistema strutturale in acciaio S235.

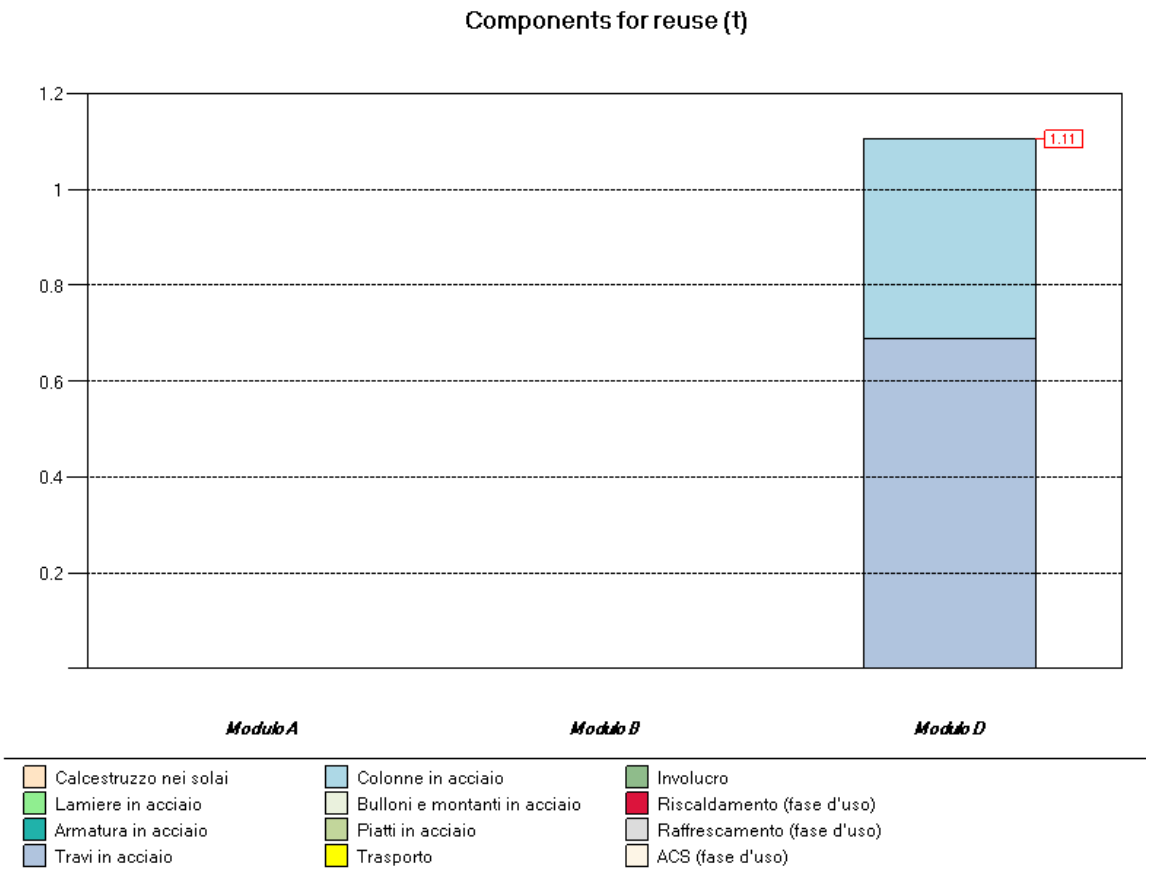


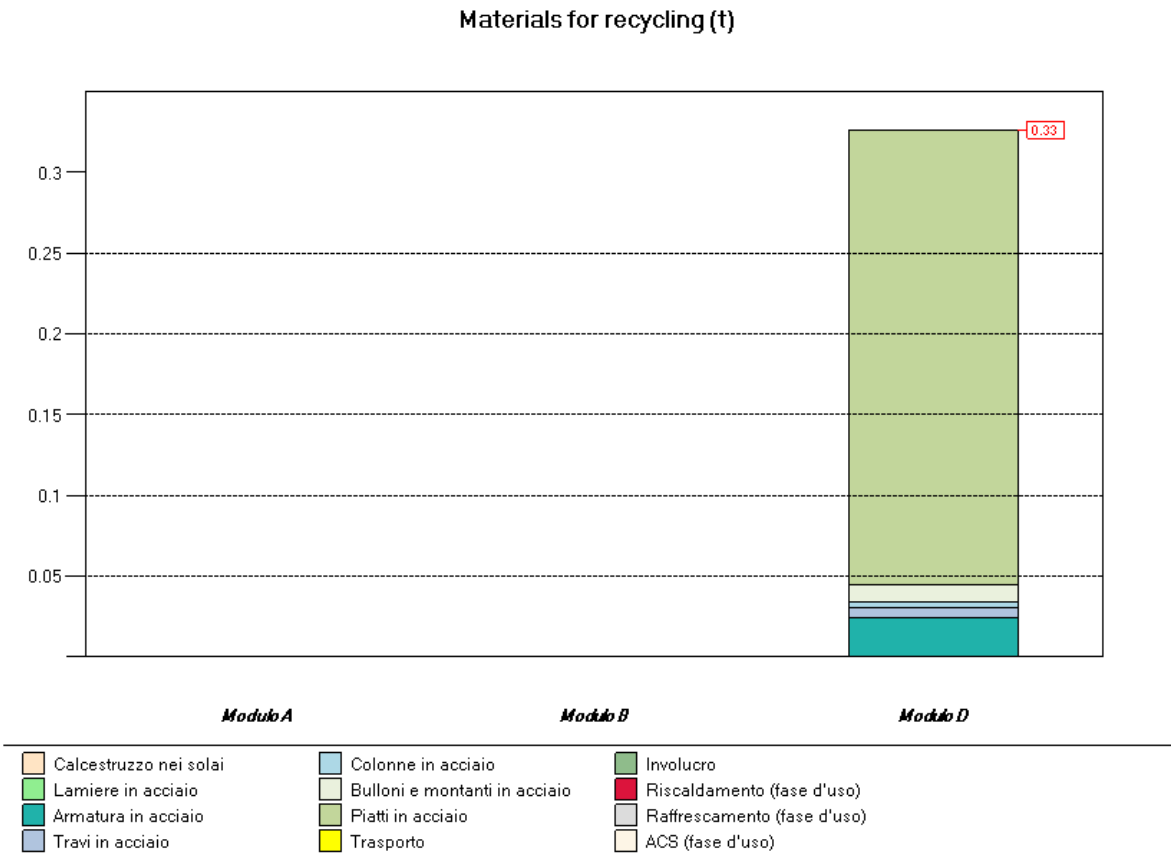
Gli impatti GWP relativi ai materiali usati per la costruzione dell'edificio, quali il sistema strutturale e le componenti dell'involucro edilizio sono mostrati nel grafico seguente:



Con riferimento al Modulo A, è possibile notare che i materiali dell'involucro edilizio producono il 56% dell'impatto GWP totale.
L' impatto GWP prodotto dal sistema strutturale risulta pari a 78.6 tCO_2-e, invece quello dovuto al calcestruzzo utilizzato nel solaio è pari a 47.31 tCO2-eq, che rappresenta il 60% dell'impatto GWP dell'intero sistema strutturale.

Il Modulo D evidenzia i benefici relativi alla fase di fine vita dei componenti dell'edificio che consiste nel riuso degli elementi oppure nel riciclo del materiale, come mostrato nei grafici seguenti:


Components for reuse (t)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
1.11
Modulo A
Modulo B
Modulo D
Calcestruzzo nei solai
Lamiere in acciaio
Armatura in acciaio
Travi in acciaio
Colonne in acciaio
Bulloni e montanti in acciaio
Piatti in acciaio
Trasporto
Involucro
Riscaldamento (fase d'uso)
Raffrescamento (fase d'uso)
ACS (fase d'uso)


Materials for recycling (t)
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0.33
Modulo A
Modulo B
Modulo D
Calcestruzzo nei solai
Lamiere in acciaio
Armatura in acciaio
Travi in acciaio
Colonne in acciaio
Bulloni e montanti in acciaio
Piatti in acciaio
Trasporto
Involucro
Riscaldamento (fase d'uso)
Raffrescamento (fase d'uso)
ACS (fase d'uso)

Il consumo energetico per il riscaladmento risulta pari a 19 kWh/m²anno come descritto in dettaglio nella tabella seguente:

Fase d'uso del riscaldamento

Energia impiegata per il riscalmento dell'ambiente					
Trasmissione di calore attraverso scambio termico					
Pareti	Vetrate	Piani fuori terra	Copertura	Terreno	Totale
kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno
11050.9	28739.9	0.0	17389.8	11212.7	66993.5
Trasmissione termica attraverso ventilazione			Guadagni termici		
Ventilazione			Vetrate	Opache	Interno
kWh/anno			kWh/anno	kWh/anno	kWh/anno
52169.4			42631.5	1661.1	64941.9

Energia necessaria per il riscaldamento												
Qh,nd	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
kWh	3642.1	3040.8	2279.5	1099.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	755.8	2582.3	3540.6
kWh/m²	4.0	3.4	2.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	2.9	3.9

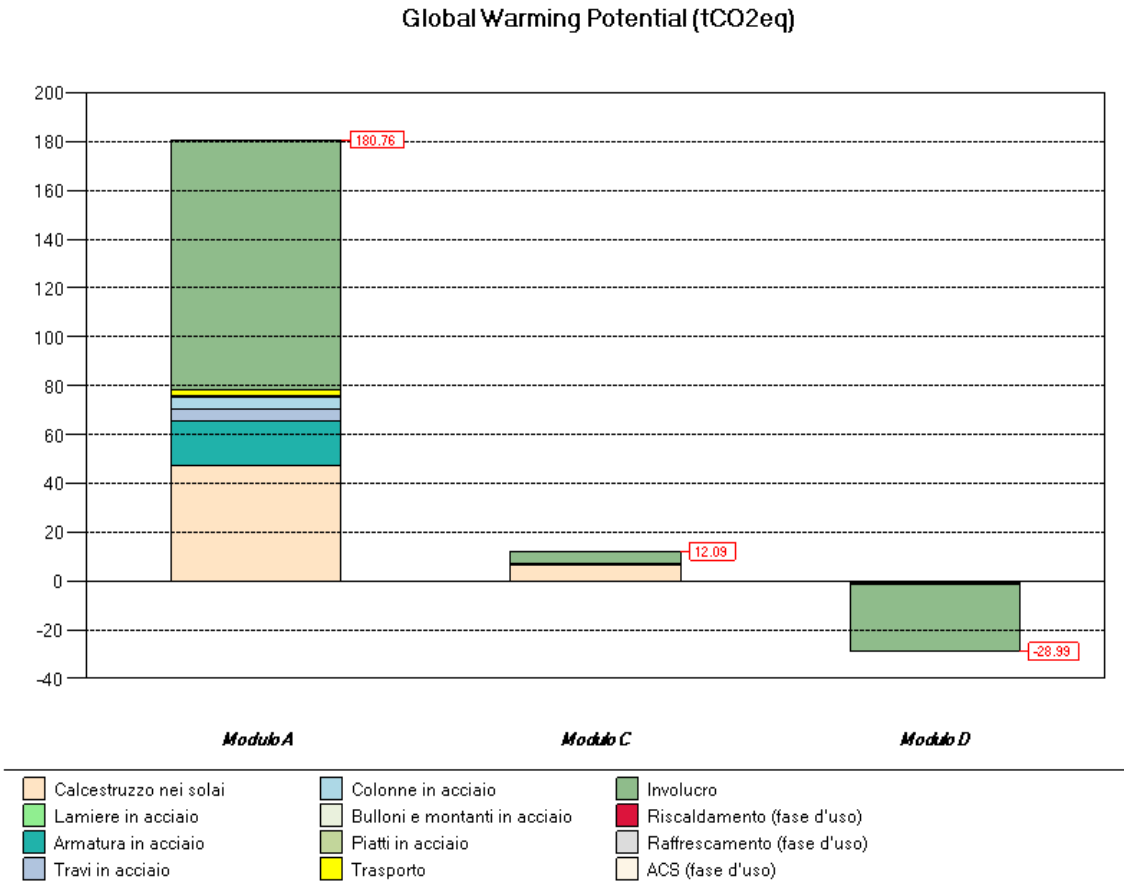
Abbattimento dei consumi di energia		
Energia totale per il riscaldamento dell'edificio		
Energia necessaria	16948.6	kWh/anno
	18.8	kWh/m²/anno
Energia erogata	19481.1	kWh/anno
COP : 0.87	21.6	kWh/m²/anno
Primaria	1675.4	kgoe/anno
fconv : 0.086	1.9	kgoe/m²/anno

7.3.8.2 Sistema strutturale in acciaio S460

Se si considera l'acciaio di grado superiore rispetto a quello utilizzato nella prima soluzione, si ha una riduzione del peso totale della struttura in acciaio, passando da un valore di 6.66 t di acciaio S235 ad un valore di 4.33 t di acciaio S460, che implica una riduzione totale di 2.33 t di elementi strutturali in acciaio. Sulla base di questa considerazione si verifica anche una riduzione degli impatti GWP in relazione ai Moduli A, C e D , come mostrato nel grafico seguente.

L'impatto GWP del sistema strutturale in acciaio dovuto all'aumento del grado dell'acciaio considerato risulta pari a 10.69 t CO_2-eq, che permette di ottenere una riduzione netta di 2.69 tCO2-eq se si confronta con gli impatti GWP prodotti dal sistema in acciaio S235.

Gli impatti GWP prodotti dai componenti dell'involucro causano il 57% del'impatto totale del modulo A che risulta simile alla percentuale ottenuta dal sistema strutturale in acciaio S235.



I risultati relativi all'impatto GWP del sistema strutturale in acciaio S460 sono riportati in dettaglio nella tabella seguente:

Dettagli dei risultati

Global Warming Potential

	Modulo A tCO2eq	Modulo B tCO2eq	Modulo C tCO2eq	Modulo D tCO2eq	Totale di A e C tCO2eq	Totale di A e D tCO2eq
Quantità totale di acciaio	28.60	0.00	0.97	-1.44	29.57	28.13
Travi	5.00	0.00	0.03	-0.49	5.03	4.54
Colonne	4.81	0.00	0.03	-0.47	4.84	4.37
Montanti e bulloni	0.05	0.00	0.00	-0.02	0.05	0.04
Piastre di connessione	0.83	0.00	0.00	-0.43	0.83	0.40
Quantità totale di calcestruzzo	47.31	0.00	6.29	-0.12	53.61	53.49
Solai in calcestruzzo	47.31	0.00	6.29	-0.12	53.61	53.49
Involucro	102.75	0.00	4.83	-27.43	107.58	80.15
Totale della fase d'uso	0.00	9432.38	0.00	0.00	9432.38	9432.38
Riscaldamento	0.00	9432.38	0.00	0.00	9432.38	9432.38
Raffrescamento	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trasporto	2.09	0.00	0.00	0.00	2.09	2.09
Impatto totale del modulo	180.76	9432.38	12.09	-28.99	9625.23	9596.24

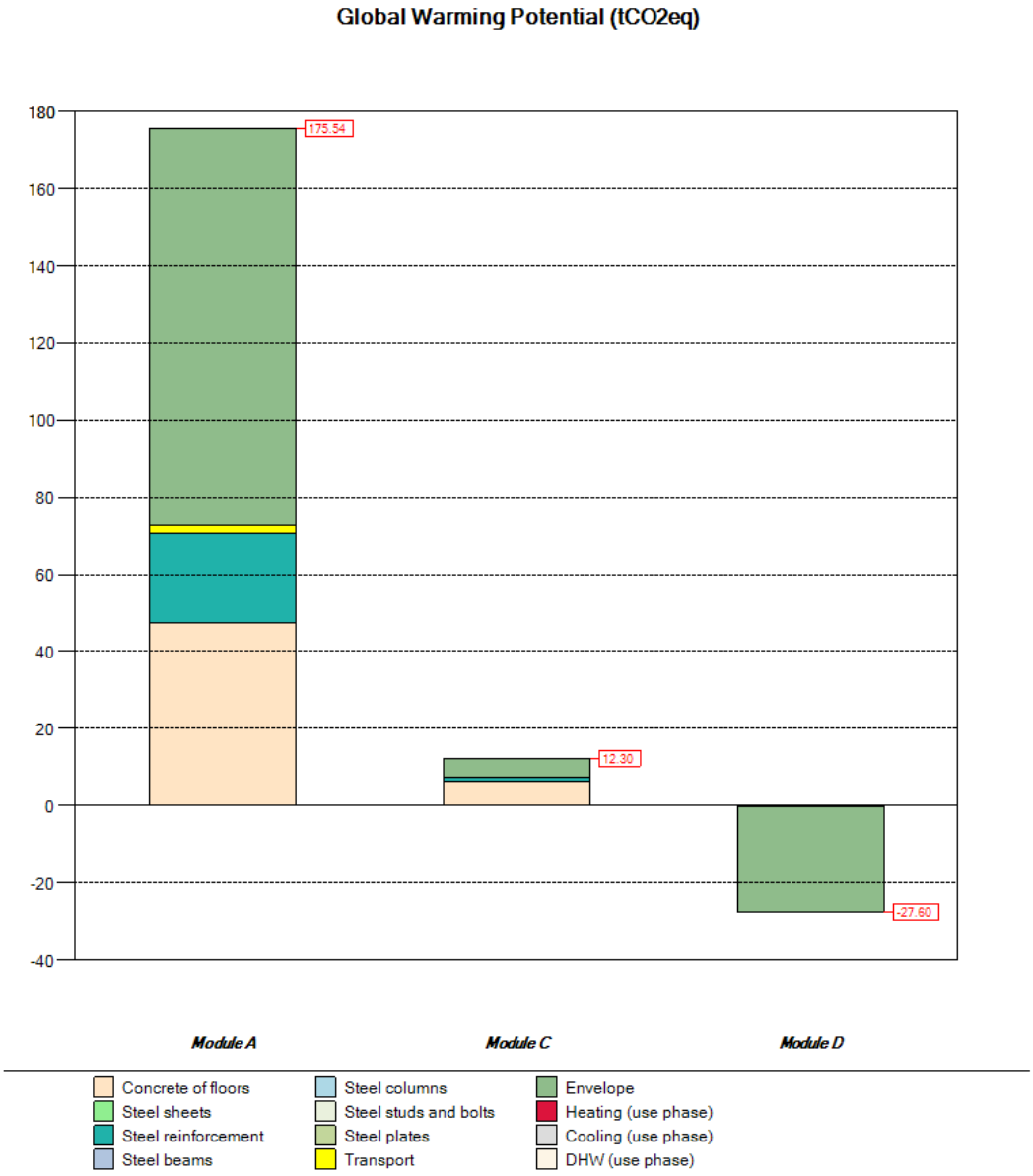
7.3.8.3 Sistema strutturale in cemento armato

La tabella seguente sintetizza gli impatti ambientali GWP dell'edificio realizzato con sistema strutturale in cemento armato.

Industrial hall		GWP (tCO2eq)
Module A	Concrete of floors	47.31
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	23.26
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	2.21
	Envelope	102.75
	Module A	**182.70**
Module B	Energy need for space heating	9432.38
	Energy need for space cooling	0.00
	Energy need for DHW production	0.00
	Module B	**9432.38**
Module C	Concrete of floors	6.29
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	1.18
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	4.83
	Module C	**13.07**
Module D	Concrete of floors	-0.12
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	-0.05
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	-27.43
	Module D	**-27.69**
Total A to C	**Total A to C**	**9628.16**
Total A to D	**Total A to D**	**9600.47**

Anche in questo caso gli impatti dovuti alla fase d'uso risultano predominanti rispetto alle altre fasi del ciclo di vita dell'edificio e assumono gli stessi valori ottenuti per gli edifici realizzati con i sistemi strutturali in acciaio.

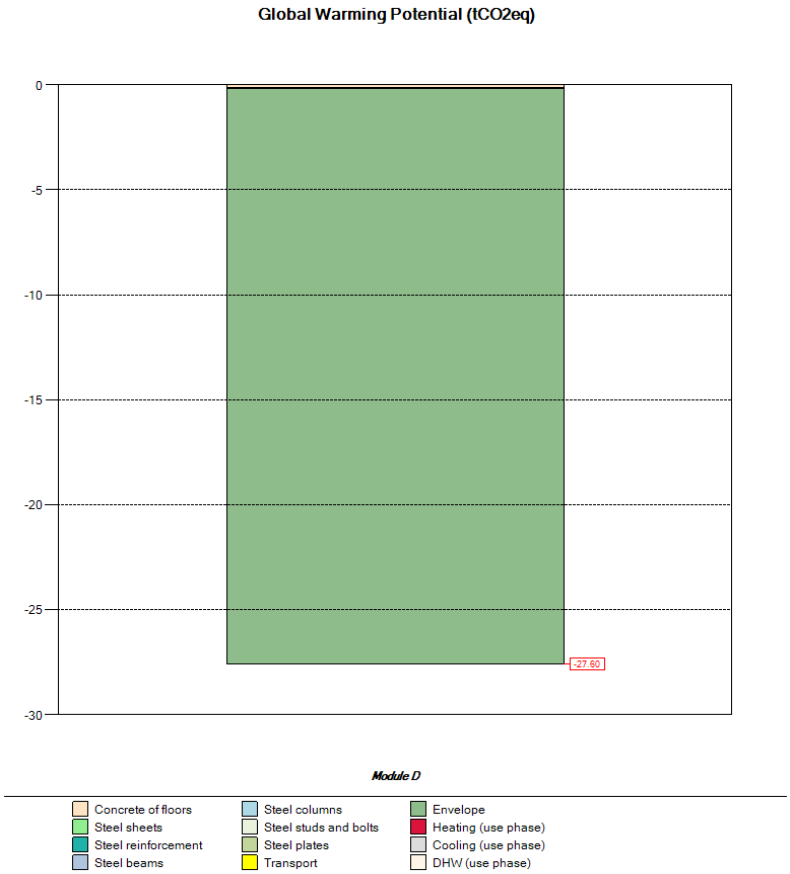
I valori dell' impatto GWP per le componenti e i moduli sono mostrate nei grafici seguenti:



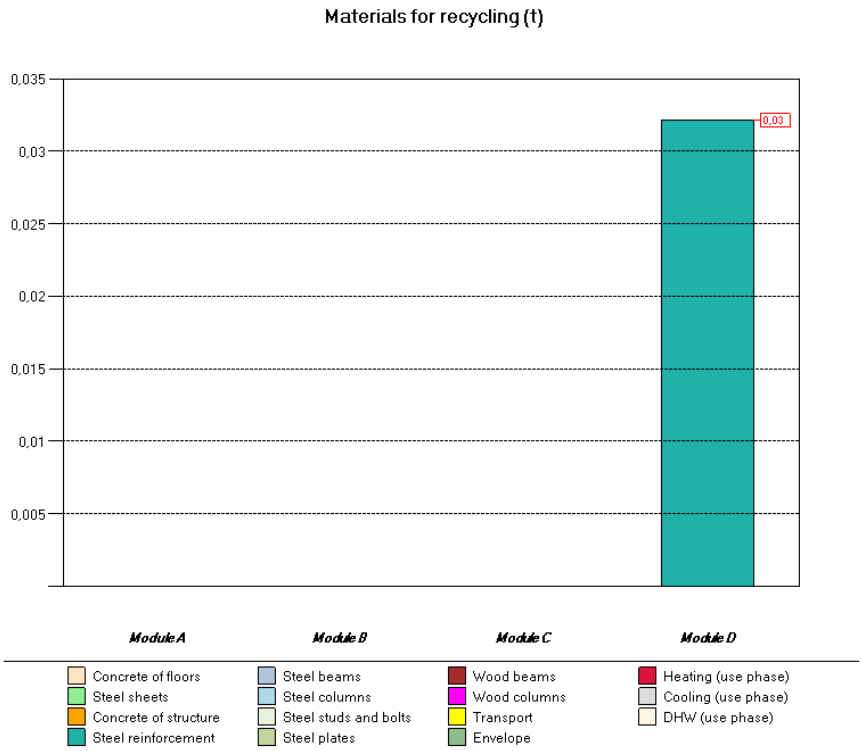
Il modulo A provoca un impatto GWP totale pari a 182.7 t CO_2-eq; invece, l'impatto GWP dovuto al solo sistema strutturale assume il valore di 79.95 t CO_2-eq, con il 29% dovuto alle barre di armatura.

Il calcestruzzo del solaio produce il 26% degli impatti GWP totali in relazione al Modulo A.

Il grafico sottostante mostra gli impatti GWP relativi al Modulo D, sottolineando i benefici dei materiali riciclati all'interno degli elementi dell'involucro: in particolare gli elementi che costituiscono il telaio in acciaio leggero delle pareti esterne e le lamierre grecate della copertura.

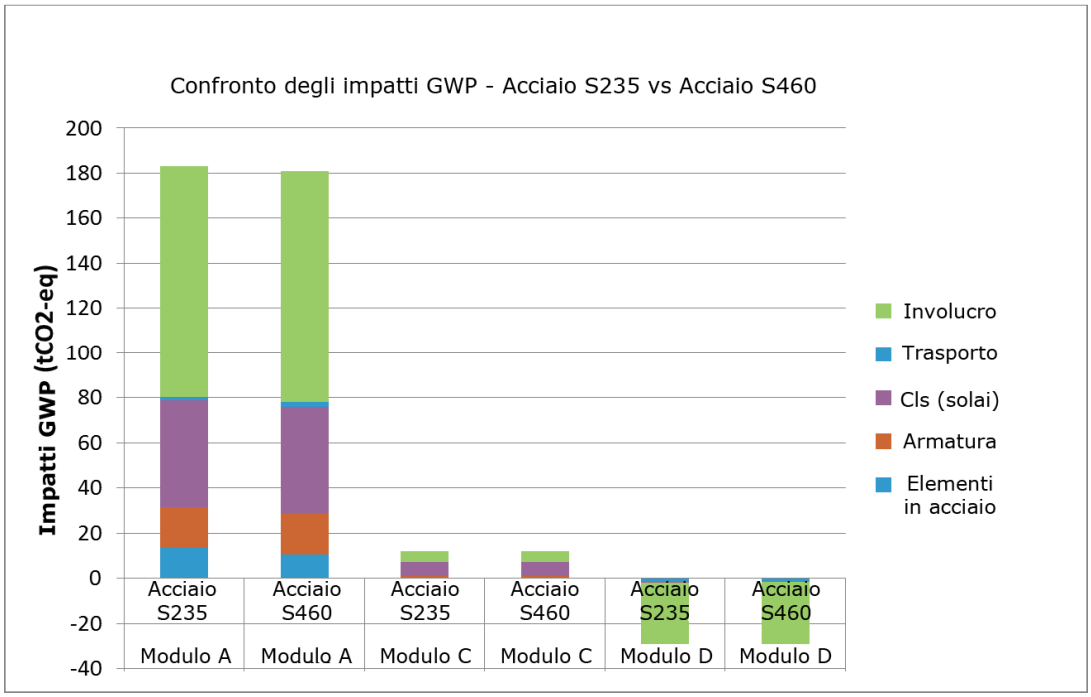


I materiali che possono essere riciclati rappresentano circa 0.03 t, valore inferiore rispetto a quello ottenuto per il sistema strutturale in acciaio S235 (0.33t).



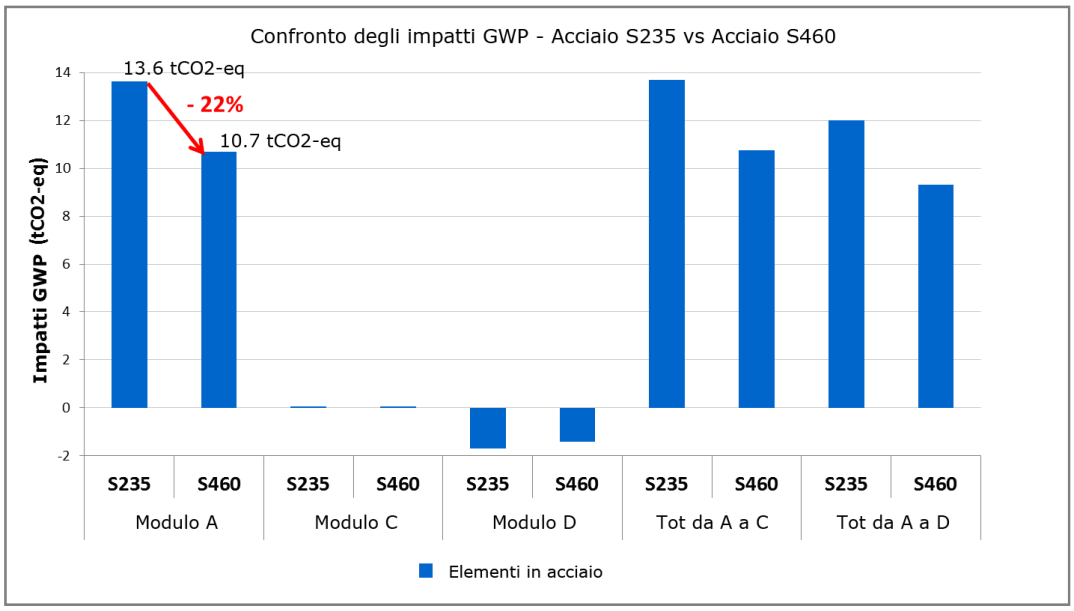
7.3.8.4 Confronto degli impatti GWP delle sluzioni strutturali in acciaio S235 e S460

Il grafico mostra gli impatti GWP del sistema strutturale in acciaio S235 confrontati con la struttura in acciaio S460:



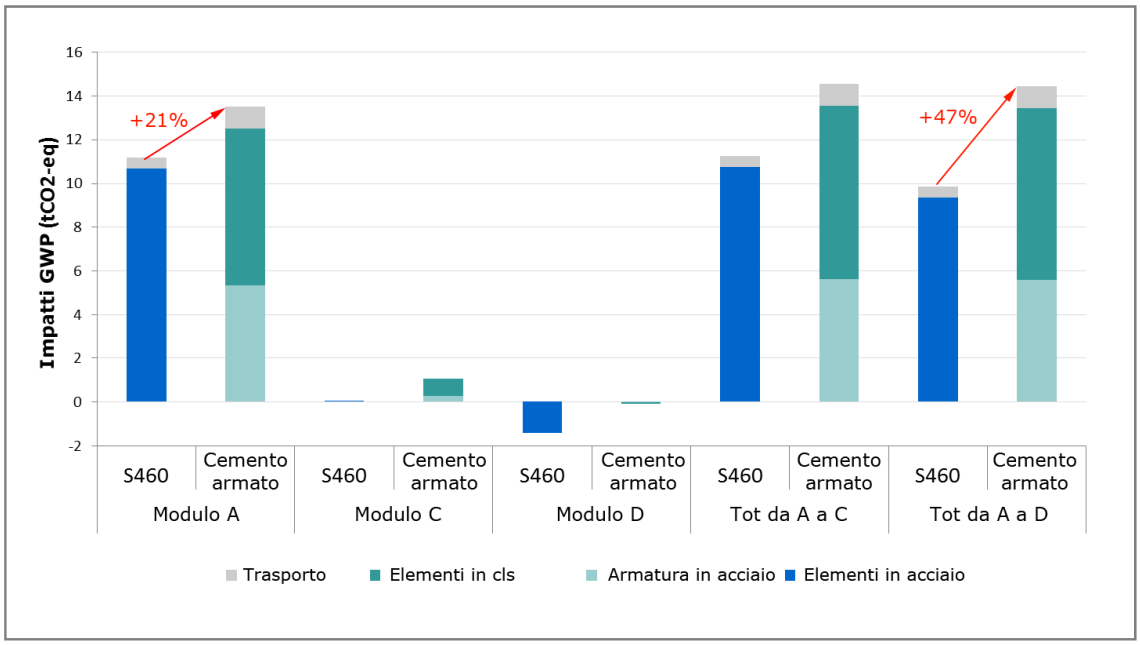
Come precedentemente illustrato, i materiali dell'involucro edilizio provocano il 56% dell'impatto GWP totale in relazione alla fase di produzione del ciclo di vita (Modulo A).

Il grafico sottostante mostra gli impatti GWP dovuti ai due sistemi strutturali in acciaio. Considerando un acciaio di grado superiore si ha una riduzione di 2.3 t di elementi strutturali in acciaio e una riduzione del 22% di tCO2eq in relazione al modulo A del sistema strutturale.



7.3.8.5 Confronto degli impatti GWP tra il sistema strutturale in acciaio S460 vs il sistema strutturale in cemento armato.

Il grafico seguente mostra in dettaglio il confronto tra i risultati dell'impatto GWP globale tra il sistema strutturale in acciaio S460 e quello in cemento armato, in relazione ai moduli A, C & D.



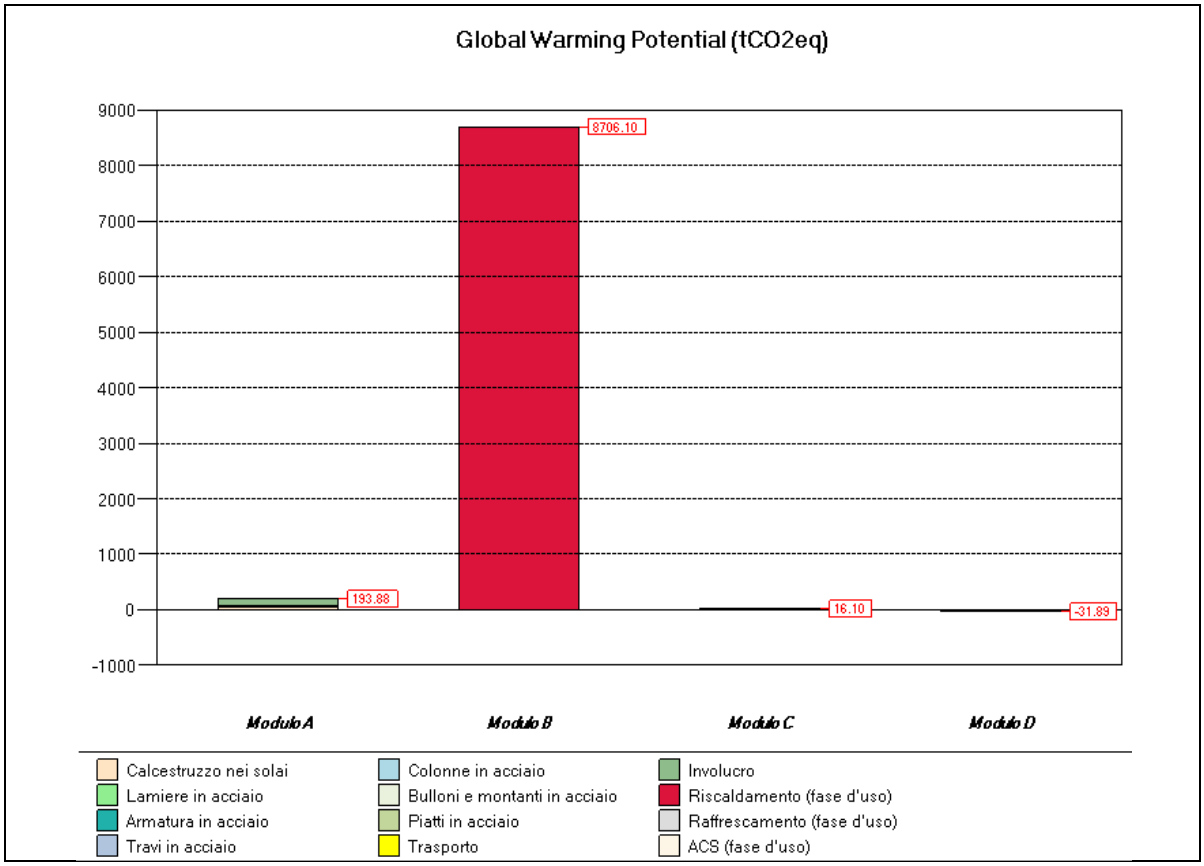
Analizzando il diagramma a barre è possibile notare che la soluzione che prevede la struttura in cemento armato produce un aumento dell'impatto GWP, espresso in tCO2eq, pari al 47%, se si considera il risultato totale dal Modulo A al Modulo D; in particolare il 21% dell'impatto è dovuto alla produzione dei materiali (Modulo A).

Questi risultati dimostrano che le strutture in acciaio realizzate con profili laminati a caldo sono più sostenibili di quelle in cemento armato, anche se si esclude la fase di riciclo. Infatti nel caso in cui si prenda in considerazione il processo di riciclo dei materiali nella fase di fine vita, che consiste nel riciclo infinito dell'acciaio e nella valorizzazione del calcestruzzo demolito, la differenza tra le due soluzione risulterebbe ancora più significativa.

7.3.9 Analisi dei benefici ambientali dovuti all'aumento dello spessore dell'isolante

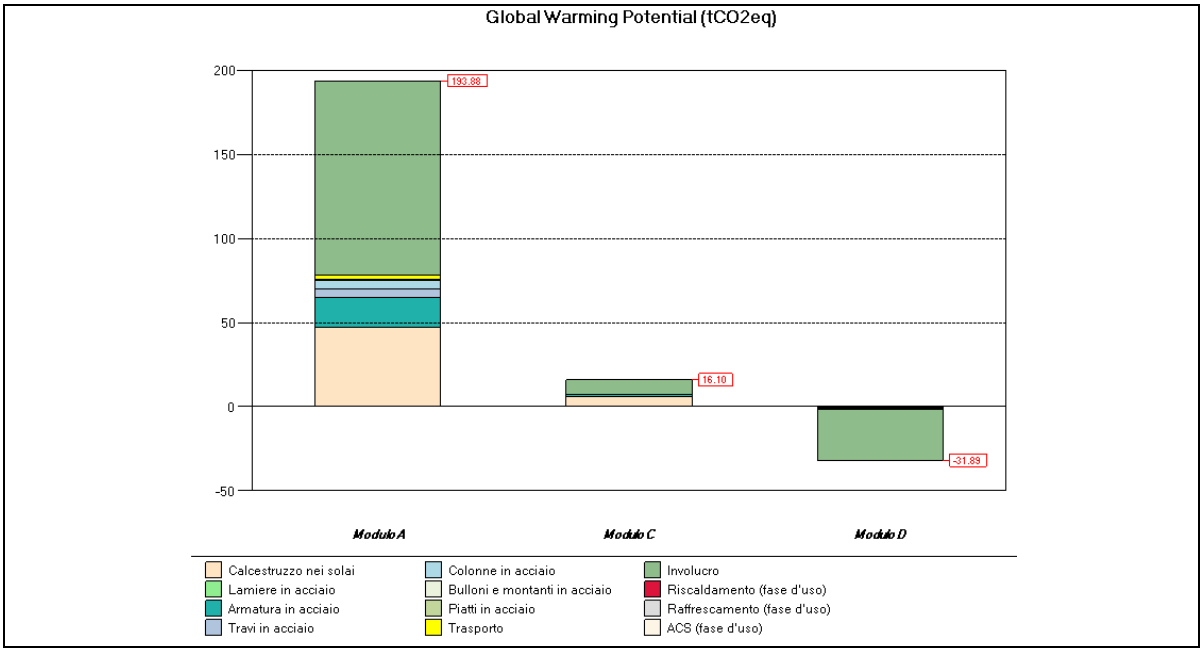
Come descritto nel capitolo precedente, la fase d'uso produce più del 99% dell'impatto totale GWP in relazione all'intero ciclo di vita dell'edificio.
L'obiettivo di ridurre drasticamente i consumi energetici e, di conseguenza, gli impatti ambientali dell'edificio, induce a considerare come soluzione comune per raggiungere tale scopo il miglioramento dell'efficienza energetica relativa ai componenti dell'involucro, attraverso l'aumento dello spessore dell'isolante.
Analizzare l'influenza di tali modifiche risulta un'operazione facile con AMECO.

Lo spessore dell'isolante della facciata (nel caso specifico il pannello sandwich) inizialmente pari ad 80 mm è stato aumentato raggiungendo il valore di 200 mm.
In questo modo è stato possibile ottenere una riduzione dell'impatto GWP relativo alla fase d'uso con un risparmio netto corrispondente di 888 tCO2-eq.



Capannone S235		GWP (tCO2eq)
Modulo A	Calcestruzzo impiegato nei solai	47.31
	Lamiere in acciaio	0.00
	Armatura in acciaio	17.91
	Travi in acciaio	5.00
	Colonne in acciaio	4.81
	Montanti e bulloni in acciaio	0.05
	Piastra di connessione	0.83
	Trasporto	2.09
	Involucro	115.87
	Modulo A	**193.88**
Modulo B	Fabbisogno di energia per il riscaldamento degli ambienti	8706.10
	Fabbisogno di energia per il raffrescamento degli ambienti	0.00
	Fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria ad uso domestico	0.00
	Modulo B	**8706.10**
Modulo C	Calcestruzzo impiegato nei solai	6.29
	Lamiere in acciaio	0.00
	Armatura in acciaio	0.91
	Travi in acciaio	0.03
	Colonne in acciaio	0.03
	Montanti e bulloni in acciaio	0.00
	Piastra di connessione	0.00
	Trasporto	0.00
	Involucro	8.85
	Modulo C	**16.10**
Modulo D	**Modulo D**	**-31.89**
Totale da A a C	**Totale da A a C**	**8916.08**
Totale da A a D	**Totale da A a D**	**8884.19**

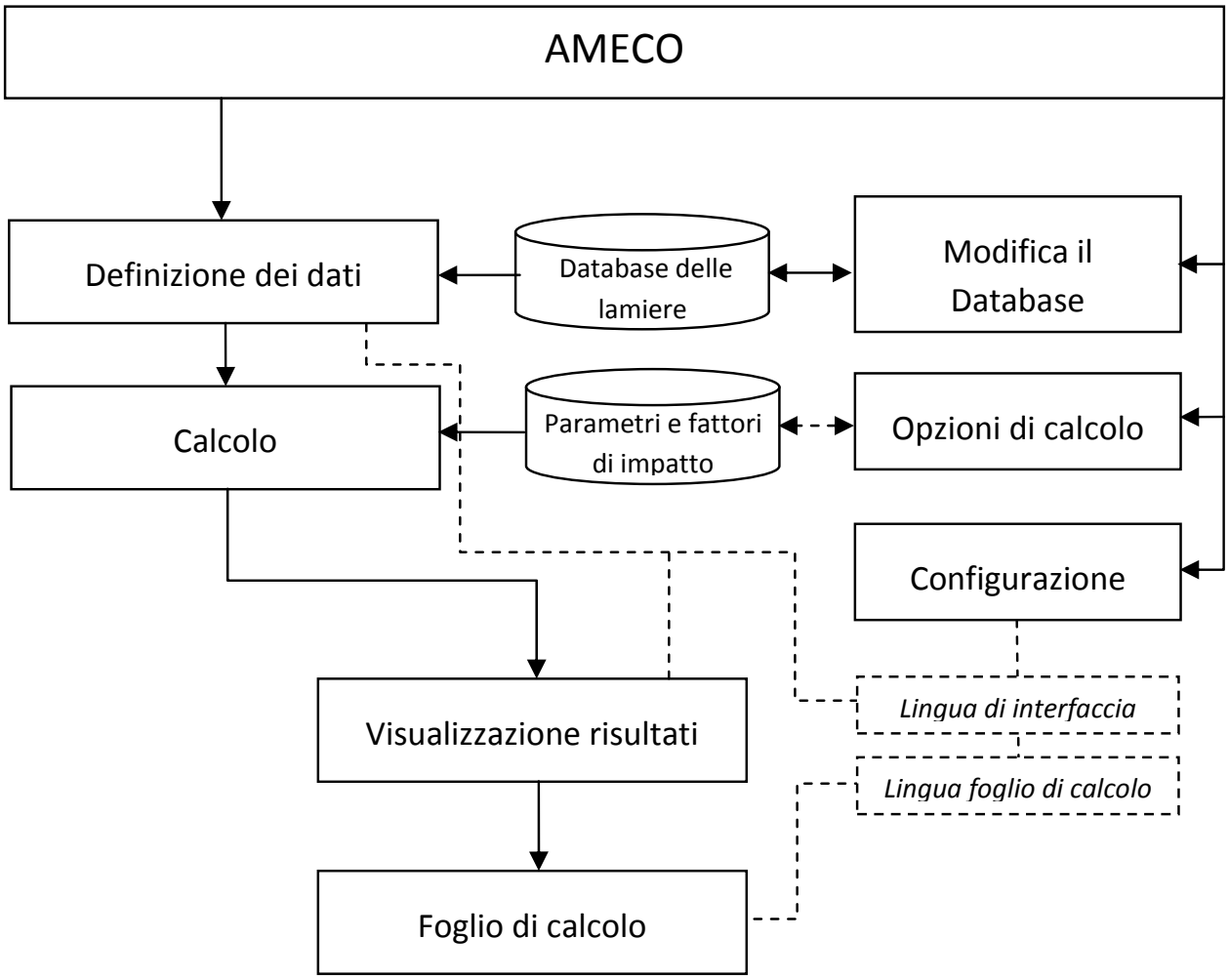
Tuttavia l'uso di una quantità maggiore di isolante provoca un aumento dell'impatto totale GWP, relativo al Modulo A, pari a 193.88 t CO_2-eq che corrisponde ad un aumento di 13.12 t CO_2-eq rispetto al caso in cui si considera l'isolante di spessore inferiore.
Nonostante ciò, se si fa riferimento alla riduzione del consumo energetico, tale svantaggio è trascurabile, sottolineando l'importanza di migliorare l'efficienza energetica di un edificio.



8 BIBLIOGRAFIA

[1] P-O. MARTIN, AMECO SOFTWARE Technical Manual, report DRV/10-DRC-107/002-A, CTICM, 2010.
[2] C. THAUVOYE, AMECO 2 SOFTWARE Technical and Software Specifications, report DRV/12-DRV-123/001-A, CTICM, 2012.
[3] P. SANTOS, Excel sheet calculation, University of Coimbra, 2013
[4] BIO Intelligence Service, Evaluation de la Qualité Environnementale de Bâtiments Tertiaires – Aspects environnementaux, ArcelorMittal, Juillet 2013

ALLEGATO 1 Struttura globale del software AMECO



ALLEGATO 2 Tabelle non climatiche

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Durata del mese h	2.6784	2.4192	2.6784	2.5920	2.6784	2.5920	2.6784	2.6784	2.5920	2.6784	2.5920	2.6784
Giorni nel mese	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Nr giorni lavorativi	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Tabella 8: Durata del Mese[10^6 s], Nr dei giorni nel mese [giorni] e Nr dei giorni lavorativi [giorni] in relazione al mese *m*

Tipologia di edificio	**Area 1**		**Area 2**	
	Label	% predefinita	Label	% predefinita
RB	Area living	40	Altro	60
OB	Area uffici	80	Altro	20
CB	Area Shopping	60	Altro	40
IB	Capannone	80	Altro	20

Tabella 9: Definizioni delle aree

Tipologia di dispositivo di ombreggiamento	**R_{sh}** [m2.K/W]	**Permeabilità all'aria**		
		Δralta	Δrmedia	Δrbassa
		[m2.K/W]		
Nessun dispositivo di ombreggiamento	0.00	0.00	0.00	0.00
Dispositivo in legno opaco per esterni (senza isolamento)	0.01	0.00	0.12	0.00
Avvolgibile in legno per esterni (senza isolamento)	0.10	0.00	0.16	0.00
Avvolgibile in alluminio per esterni (senza isolamento)	0.10	0.00	0.16	0.00
Avvolgibile in plastica per esterni (senza isolamento)	0.10	0.00	0.16	0.00
Tende veneziane in legno per esterni	0.01	0.09	0.00	0.00
Tende veneziane in metallo per esterni	0.01	0.09	0.00	0.00
Tende a rullo opache per esterni	0.01	0.09	0.00	0.00
Tende a rullo taslucide per esterni	0.01	0.09	0.00	0.00
Schermatura per interni	0.01	0.00	0.00	0.24
Tende opache per interni	0.00	0.00	0.00	0.00
Tende trasparenti per interni	0.00	0.00	0.00	0.00
Dispositivo opaco in legno per interni	0.10	0.00	0.00	0.31
Avvolgibile in plastica per esterni (con isolamento)	0.15	0.13	0.19	0.26
Schermatura in legno, da 25mm a 30mm di spessore	0.20	0.14	0.22	0.30

Tabella 10: $R_{sh}, \Delta R_{high}, \Delta R_{avg}, \Delta R_{low}$ resistenza termica addizionale per una specifica permeabilità all'aria dei dispositivi di ombreggiamento

	$\Delta\theta_{er}$
SUB-POLARE	9
INTERMEDIO	11
TROPICI	13

Tabella 11: differenza media di temperatura tra temperatura dell'aria esterna e temperatura del cielo (ISO 13790)

Tipo di apertura	**g_n**	**Valore U**
Doppi vetri	0.78	2.9
Doppi vetri a bassa emissività (tipo 1)	0.72	1.7
Doppi vetri a bassa emissività (tipo 2)	0.67	1.4
Doppi vetri a bassa emissività (tipo 3)	0.65	1.2

Tabella 12: trasmittanza dell'energia solare (g_n) per radiazione perpendicolare alla superficie vetrata e valori della trasmittanza termica U (fonte: EN 15193)

Macro-componente parete	**Valore-U**	**km**
B2010.20.1a(Lana di roccia)	0,296	13391
B2010.20.1b(EPS)	0,296	13391
B2010.20.1c(XPS)	0,296	13391
B2010.20.1d(PUR)	0,296	13391
B2010.20.1e(Cork)	0,296	13391
B2010.20.2a(Lana di roccia)	0,305	62047
B2010.20.2b(EPS)	0,305	62047
B2010.20.2c(XPS)	0,305	62047
B2010.20.2d(PUR)	0,305	62047
B2010.20.2e(Cork)	0,305	62047
B2010.20.2f(Lana di vetro)	0,305	62047

Tabella 13: Tipologia della parete esterna

Efficienza dell'impianto di riscaldamento	
Electric resistance	1
Gas Fuel Heater	0.87
Liquid Fuel Heater	0.8
Solid Fuel Heater	0.6
Split (Riscaldamento)	4

Tabella 14: Efficienza dell'impianto di riscaldamento

Efficienza dell'impianto di raffrescamento	
Split (Raffrescamento)	3
Macchina di refrigerazione (ciclo di compressione)	3
Macchina di refrigerazione (ciclo di assorbimento)	0.8
Nessun impianto di raffrescamento	0.0

Tabella 15: Efficienza dell'impianto di raffrescamento

Efficienza dell'impianto di produzione di ACS	
Caldaia elettrica	0.9
Caldaia a gas	0.6
Scaldabagno (condensa)	0.72
Scaldabagno	0.4
Nessun sistema di produzione di ACS	0.0

Tabella 16: Efficienza dell'impianto di produzione di ACS

Tipo di energia	
Elettricità	0.29
Gas	0.086
Combustibile liquido	0.086
Combustibile solido	0.086
Biomassa	0

Tabella 17: fattore di conversione in energia primaria che dipende dal tipo di energia finale

	Colore del dispositivo di ombreggiamento		
Tipo di dispositivo di ombreggiamento	Chiaro	Intermedio	Scuro
Nessun dispositivo di ombreggiamento	1.00	1.00	1.00
Dispositivo in legno opaco per esterni (senza isolamento)	0.03	0.05	0.06
Avvolgibile in legno per esterni (senza isolamento)	0.04	0.05	0.07
Avvolgibile in alluminio per esterni (senza isolamento)	0.04	0.07	0.09
Avvolgibile in plastica per esterni (senza isolamento)	0.04	0.07	0.09
Tende veneziane in legno per esterni	0.08	0.08	0.08
Tende veneziane in metallo per esterni	0.09	0.09	0.09
Tende a rullo opache per esterni	0.04	0.06	0.08
Tende a rullo taslucide per esterni	0.16	0.18	0.2
Schermature per interni	0.47	0.59	0.69

Tende opache per interni	0.37	0.46	0.55
Tende trasparenti per interni	0.39	0.48	0.58
Dispositivo opaco in legno per interni	0.35	0.46	0.58
Avvolgibile in plastica per esterni (con isolamento)	0.04	0.07	0.09
Schermature in legno, da 25mm a 30mm di spessore	0.04	0.05	0.07

Tabella 18: trasmittanza termica dell'energia solare di finestre con dispositivi di ombreggiamento

	λ	**ρc**
Argilla o limo	1.5	3000000.00
Sabbia o ghiaia	2	2000000.00
Roccia omogenea	3.5	2000000.00
Predefinito	2	2000000.00
Definito dall'utente	1.5	1700000.00

Tabella 19: conduttività e capacità termica del terreno (ISO 13370)

Tipo di edificio	Riscaldamento notturno	Raffrescamento diurno
RB	*Si*	*Si*
OB	*No*	*Si*
CB	*No*	*No*
IB	*No*	*No*

Tabella 20: valori predefiniti per "Riscaldamento notturno" e "Raffrescamento diurno"

Macro-componente copertura	Valore-U
Macro-componente Copertura 1	1.0
Macro-componente Copertura 2	2.0

Tabella 21: Macro-componenti in relazione alla copertura

Modalità riscaldamento							**Modalità raffrescamento**					
Dispositivi di ombreggiamento ON												
Regione	a_{H0}	τ_{H0}	$k_{D,cor,H}$	$K_{cor,ve}$	$K_{cor,H}$	$K_{cor,int,H}$	a_{C0}	T_{C0}	$k_{D,cor,C}$	$K_{cor,ve,C}$	$K_{cor,C}$	$K_{cor,int,C}$
Csa	1.00	15.67	1.00	1.00	0.90	0.93	1.20	15.00	1.07	1.00	0.83	0.90
Csb	1.33	15.00	1.00	1.07	0.97	0.93	1.10	15.00	1.03	1.10	0.97	1.00
Cfb	1.33	15.00	0.93	0.83	1.10	1.07	1.30	15.00	1.00	1.00	1.00	1.03
Dfb	1.30	14.67	0.83	0.90	1.25	1.25	1.00	15.00	1.07	1.07	0.97	1.00
Dfc	1.25	14.33	0.83	0.83	1.17	1.50	1.00	15.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Dispositivi di ombreggiamento OFF												
Regione	a_{H0}	τ_{H0}	$k_{D,cor,H}$	$K_{cor,ve}$	$K_{cor,H}$	$K_{cor,int,H}$	a_{C0}	T_{C0}	$k_{D,cor,C}$	$K_{cor,ve,C}$	$K_{cor,C}$	$K_{cor,int,C}$
Csa	0.93	15.0	1.00	1.00	1.03	1.03	1.25	15.0	1.17	1.33	0.83	0.90
Csb	1.13	15.0	1.00	0.97	1.03	1.00	0.93	15.0	1.08	1.17	0.87	0.87
Cfb	1.17	15.0	1.00	0.93	1.00	1.03	1.08	15.0	1.08	1.33	0.90	0.87
Dfb	1.33	15.0	0.93	0.87	1.17	1.10	1.20	15.0	1.00	1.00	0.83	0.90
Dfc	1.50	14.0	0.80	0.80	1.07	1.20	1.00	15.0	1.17	1.17	0.92	0.90

Tabella 22: fattori di correzione per ogni regione climatica

			EDIFICIO RESIDENZIALE					
			Area 1 (soggiorno e cucina)			Area 2 (altre aree climatizzate)		
			Dalle	Alle	Apporto termico (W/m^2)	Dalle	Alle	Apporto termico (W/m^2)
OCCUPAZIONE	Da Lunedì a Venerdì	Periodo 1	07.00	17.00	8.0	07.00	17.00	1.0
		Periodo 2	17.00	23.00	20.0	17.00	23.00	1.0
		Periodo 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	6.0
	Sabato e domenica	Periodo 1	07.00	17.00	8.0	07.00	17.00	2.0
		Periodo 2	17.00	23.00	20.0	17.00	23.00	4.0
		Periodo 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	6.0
ILLUMINAZIONE	Da Lunedì a Venerdì	Periodo 1	0	0	0	0	0	0
		Periodo 2	0	0	0	0	0	0
		Periodo 3	0	0	0	0	0	0
	Sabato e domenica	Periodo 1	0	0	0	0	0	0
		Periodo 2	0	0	0	0	0	0
		Periodo 3	0	0	0	0	0	0

Tabella 23: valori predefiniti degli scenari di occupazione e illuminazione degli edifici residenziali

			EDIFICI PER UFFICI					
			Area 1: zone uffici			Area 2: altre stanze, lobbies, corridoi		
			Dalle	Alle	Apporto termico (W/m^2)	Dalle	Alle	Apporto termico (W/m^2)
OCCUPAZIONE	Da Lunedì a Venerdì	Periodo 1	07.00	17.00	20.0	07.00	17.00	8.0
		Periodo 2	17.00	23.00	2.0	17.00	23.00	1.0
		Periodo 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	1.0
	Sabato e domenica	Periodo 1	07.00	17.00	2.0	07.00	17.00	1.0
		Periodo 2	17.00	23.00	2.0	17.00	23.00	1.0
		Periodo 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	1.0
ILLUMINAZIONE	Da Lunedì a Venerdì	Periodo 1	0	0	0	0	0	0
		Periodo 2	0	0	0	0	0	0
		Periodo 3	0	0	0	0	0	0
	Sabato e domenica	Periodo 1	0	0	0	0	0	0
		Periodo 2	0	0	0	0	0	0
		Periodo 3	0	0	0	0	0	0

Tabella 24: valori predefiniti degli scenari di occupazione e illuminazione degli edifici per ufficio

			EDIFICI COMMERCIALI					
			Area 1			Area 2		
			Dalle	Alle	Apporto termico (W/m^2)	Dalle	Alle	Apporto termico (W/m^2)
OCCUPAZIONE	Da Lunedì a Venerdì	Periodo 1	5	17	8	5	17	1
		Periodo 2	17	23	20	17	23	1
		Periodo 3	23	7	2	23	7	6
	Sabato e domenica	Periodo 1	5	17	8	5	17	2
		Periodo 2	17	23	20	17	23	4
		Periodo 3	23	7	2	23	7	6
ILLUMINAZIONE	Da Lunedì a Venerdì	Periodo 1	6	9	0	6	9	0
		Periodo 2	17	23	6	17	23	6
		Periodo 3	23	8	0	23	8	0
	Sabato e domenica	Periodo 1	6	9	0	6	9	0
		Periodo 2	17	23	6	17	23	6
		Periodo 3	23	8	0	23	8	0

Tabella 25: valori predefiniti degli scenari di occupazione e illuminazione per edifici commerciali

			EDIFICI INDUSTRIALI					
			Area 1			Area 2		
			Dalle	Alle	Apporto termico (W/m^2)	Dalle	Alle	Apporto termico (W/m^2)
OCCUPAZIONE	Da Lunedì a Venerdì	Periodo 1	7	17	8	7	17	1
		Periodo 2	17	23	20	17	23	1
		Periodo 3	23	7	2	23	7	6
	Sabato e domenica	Periodo 1	7	17	8	7	17	2
		Periodo 2	17	23	20	17	23	4
		Periodo 3	23	7	2	23	7	6
ILLUMINAZIONE	Da Lunedì a Venerdì	Periodo 1	8	9	0	8	9	0
		Periodo 2	17	23	6	17	23	6
		Periodo 3	23	8	0	23	8	0
	Sabato e domenica	Periodo 1	8	9	0	8	9	0
		Periodo 2	17	23	6	17	23	6
		Periodo 3	23	8	0	23	8	0

Tabella 26: valori predefiniti degli scenari di occupazione e illuminazione per gli edifici industriali

Riferimento	Unità di misura	RB	OB	CB	IB
Temperatura Riscaldamento	°C	20	20	20	18
Temperatura Raffrescamento	°C	26	26	26	26
Flusso d'aria (riscaldamento) (valore minimo per garantire buona qualità dell'aria interna)	ac/h	0.60	0.60	0.60	0.60
Flusso d'aria (raffrescamento)	ac/h	1.00	1.00(	1.00(	1.00

Tabella 27: valori predefiniti per le condizioni interne degli ambienti

Riferimento	RB	OB	CB	IB
Orario inizio programmazione	17h00	07h00	09h00	08h00
Orario fine programmazione	23h00	17h00	19h00	17h00
Numero di giorni / settimana	7	5	6	5

Tabella 28: valori predefiniti per gli impianti di riscaldamento

Tipo di impianto ***Riscaldamento/Raffrescamento***	**Valore predefinito per "*Energia usata*"**
Riscaldamento elettrico	Elettricità
Riscaldamento a gas	Gas
Riscaldamento a combustibile liquido	Combustibile liquido
Riscaldamento a combustibile solido	Combustibile solido
Split (riscaldamento)	Elettricità
Split (raffrescamento)	Elettricità
Macchina di Refrigerazione (compressione)	Elettricità
Macchina di refrigerazione (assorbimento)	Elettricità

Tabella 29: valori predefiniti per l'energia usata per Riscaldamento / Raffrescamento

Riferimento	**RB**	**OB**	**CB**	**IB**
Numero di giorni / settimana	7	5	6	5

Tabella 30: valori predefiniti per "Numero di giorni lavorativi per il raffrescamento"

Tipo di impianto ACS	**Valore predefinito per "*Energia usata*"**
Caldaia elettrica	Elettricità
Caldaia a gas	Gas
Scaldabagno elettrico(condensa)	Gas
Scaldabagno	Gas

Tabella 31: Valori predefiniti per *Energia usata* per la produzione di ACS

ALLEGATO 3 Tabelle climatiche

Nazione: **Portogallo**
Latitudine: 40
Clima: Intermedio
Regione climatica secondoGeiger: Csb

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Radiazione di incidenza solare W/m^2	Nord	22.7	33.2	45.1	56.1	69.1	76.9	68.9	57.7	48.1	35.9	27.1	22.0
	Est	55.2	67.5	96.0	122.0	125.5	132.3	132.1	122.5	103.7	75.2	49.9	43.9
	Sud	141.5	128.4	151.6	141.7	113.9	112.5	119.7	147.0	153.8	152.5	111.9	111.8
	Ovest	56.7	66.8	96.4	121.4	126.1	146.8	148.6	144.8	110.6	87.5	48.7	43.0
	Copertura	87.8	107.7	170.8	220.7	241.7	277.4	282.7	260.3	197.9	138.4	84.4	69.7
Temp. Aria [°C]		9.6	11.0	12.7	13.1	15.6	19.0	20.8	21.1	20.6	16.9	12.2	11.2
$f_{H,shut}$ [-]		0.585	0.542	0.484	0.438	0.386	0.375	0.375	0.406	0.471	0.508	0.583	0.590

Tabella 32: dati climatici per **Coimbra**

Nazione: **Finlandia**
Latitude: 61
Clima: Intermedio
Regione climatica secondoGeiger: Dfc

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Radiazione di incidenza solare W/m^2	Nord	3	12	27	46	70	82	72	56	36	17	6	2
	Est	4	28	48	90	126	140	131	103	59	30	8	4
	Sud	13	85	100	142	159	159	161	138	105	65	22	16
	Ovest	5	31	54	90	129	139	139	101	59	30	8	4
	Copertura	7	34	76	139	211	237	224	166	97	46	12	5
Temp. Aria [°C]		-6.3	-6.7	-2.6	3.0	9.3	13.5	16.6	15.2	9.5	4.6	-1.0	-4.2
$f_{H,shut}$ [-]		0.727	0.616	0.500	0.376	0.267	0.183	0.226	0.328	0.450	0.565	0.693	0.750

Tabella 33: dati climatici per **Tampere**

Nazione : **Romania**
Latitudine: 45
Clima: Intermedio
Regione climatica secondo Geiger: Cfb

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Radiazione di incidenza solare	Nord	19	28	43	57	72	80	74	61	47	34	22	16
	Est	31	52	81	105	132	146	144	130	95	73	40	26
	Sud	80	112	128	129	129	128	141	152	153	155	95	69
	Ovest	32	54	74	102	125	138	141	131	98	76	39	28
	Copertura	50	84	136	182	235	266	271	234	168	121	62	43
Temp. Aria [°C]		0.0	1.5	5.2	10.7	16.8	19.4	22.1	21.4	16.4	11.6	5.7	1.4
$f_{H,shut}$ [-]		0.622	0.546	0.488	0.428	0.366	0.333	0.363	0.388	0.468	0.527	0.583	0.625

Tabella 34: dati climatici per **Timisoara**

	$f_{sh\text{-}with}$			
	NORD	EST	SUD	OVEST
MESE	[-]	[-]	[-]	[-]
GEN	0.00	0.00	0.00	0.00
FEB	0.00	0.00	0.01	0.00
MAR	0.00	0.00	0.05	0.03
APR	0.00	0.00	0.09	0.07
MAG	0.00	0.01	0.11	0.10
GIU	0.00	0.02	0.09	0.11
LUG	0.00	0.02	0.10	0.11
AGO	0.00	0.00	0.09	0.09
SET	0.00	0.00	0.08	0.05
OTT	0.00	0.00	0.02	0.00
NOV	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 35 : f_{shwith}, frazione ponderata di tempo con dispositivo di ombreggiamento in uso (alcuni valori relativi a Coimbra, Tampere e Timisoara)

ALLEGATO 4 Parametri degli impatti in relazione ai macro-componenti

I 24 impatti ambientali sono richiamati in **Tabella 36**.

Indice	Sigla	Denominazione
1	**GWP**	Potenziale di Riscaldamento Globale
2	**ODP**	Potenziale di Riduzione dell'Ozono
3	**AP**	Potenziale di Acidificazione
4	**EP**	Potenziale di Eutrofizzazione
5	**POCP**	Potenziale di Formazione dell'Ozono Fotochimico
6	**ADP-e**	Potenziale di Degrado Abiotico – elementi
7	**ADP-ff**	Potenziale di Degrado Abiotico – risorse fossili
8	**RPE**	Uso di energia primaria rinnovabile ad esclusione delle risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime
9	**RER**	Uso di risorse di energia rinnovabile usate come materie prime
10	**RPE-total**	Uso totale di energia primaria rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria usate coem materie)
11	**Non-RPE**	Uso di energia primaria non rinnovabile ad esclusione delle risorse di energia primaria non rinnovabile usate come materie prime
12	**Non-RER**	Uso di risorse di energia non rinnovabile usate come materie prime
13	**Non-RPE-total**	Uso totale di energia primaria non rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria usate coem materie prime)
14	**SM**	Uso di materiale secondario
15	**RSF**	Uso di combustibili secondari rinnovabili
16	**Non-RSF**	Uso di combustibili secondari non rinnovabili
17	**NFW**	Uso di acqua da rete idrica
18	**HWD**	Rifiuti pericolosi smaltiti
19	**Non-HWD**	Rifiuti non pericolosi smaltiti
20	**RWD**	Rifiuti radioattivi smaltiti
21	**CR**	Componenti per il riuso
22	**MR**	Materiali per il riciclo
23	**MER**	Materiali per il recupero energetico
24	**EE**	Energia esportata

Tabella 36: impatti ambientali

In relazione al macro-componente parete, i coefficienti dei seguenti impatti sono impostati sul valore: RPE_total, Non_RPE, Non_RER, NonRPE_total, SM, RSF, Non_RSF, HWD, Non_HWD, RWD, CR, MR, MER, EE.

Di seguito si riportano i coefficienti degli impatti il cui valore è diverso da zero.

Macro-componente	Impatto	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.1a (lana di roccia)	k_{A1A3}	6,50 E-02	6,43 E-10	2,65 E-04	2,41 E-05	3,27 E-05	3,06 E-08	7,09 E-01	7,13 E-01	1,86 E-01	4,53 E-02
B2010.20.1a (lana di roccia)	k_{A4}	5,86 E-05	1,03 E-15	2,63 E-07	6,05 E-08	-8,58 E-08	2,19 E-12	8,14 E-04	8,14 E-04	3,19 E-05	8,27 E-04
B2010.20.1a (lana di roccia)	k_{C2}	5,13 E-05	8,98 E-16	2,28 E-07	5,23 E-08	-7,40 E-08	1,92 E-12	7,12 E-04	7,12 E-04	2,79 E-05	7,23 E-04
B2010.20.1a (lana di roccia)	k_{C4}	4,94 E-04	9,24 E-14	7,35 E-07	1,13 E-07	1,91 E-07	4,32 E-11	1,68 E-03	1,68 E-03	1,25 E-04	2,46 E-03
B2010.20.1a (lana di roccia)	k_D	-1,73 E-02	3,41 E-10	-4,81 E-05	-1,17 E-06	-1,13 E-05	-2,10 E-07	-3,05 E-01	-3,14 E-01	9,76 E-03	9,10 E-03
B2010.20.1b (EPS)	k_{A1A3}	5,18 E-02	8,13 E-10	1,44 E-04	1,03 E-05	6,33 E-05	2,82 E-08	6,75 E-01	6,81 E-01	1,73 E-01	-2,27 E-02
B2010.20.1b (EPS)	k_{A4}	5,17 E-05	9,05 E-16	2,32 E-07	5,34 E-08	-7,57 E-08	1,93 E-12	7,18 E-04	7,18 E-04	2,81 E-05	7,29 E-04
B2010.20.1b (EPS)	k_{C2}	4,33 E-05	7,57 E-16	1,92 E-07	4,41 E-08	-6,24 E-08	1,62 E-12	6,00 E-04	6,00 E-04	2,35 E-05	6,10 E-04
B2010.20.1b (EPS)	k_{C4}	6,79 E-03	8,54 E-14	8,87 E-07	1,50 E-07	1,70 E-07	5,61 E-11	1,84 E-03	1,84 E-03	1,38 E-04	1,39 E-02
B2010.20.1b (EPS)	k_D	-2,22 E-02	3,41 E-10	-7,24 E-05	-2,60 E-06	-1,27 E-05	-2,10 E-07	-3,70 E-01	-3,78 E-01	9,55 E-03	2,86 E-03
B2010.20.1c (XPS)	k_{A1A3}	5,52 E-02	6,41 E-10	1,53 E-04	1,09 E-05	3,16 E-05	2,99 E-08	7,89 E-01	7,93 E-01	1,79 E-01	4,28 E-02
B2010.20.1c (XPS)	k_{A4}	6,00 E-05	1,05 E-15	2,69 E-07	6,20 E-08	-8,79 E-08	2,24 E-12	8,33 E-04	8,33 E-04	3,27 E-05	8,47 E-04
B2010.20.1c (XPS)	k_{C2}	4,94 E-05	8,65 E-16	2,19 E-07	5,04 E-08	-7,13 E-08	1,84 E-12	6,85 E-04	6,85 E-04	2,69 E-05	6,97 E-04
B2010.20.1c (XPS)	k_{C4}	1,07 E-02	1,04 E-13	1,16 E-06	2,01 E-07	2,06 E-07	7,46 E-11	2,36 E-03	2,36 E-03	1,78 E-04	2,14 E-02
B2010.20.1c (XPS)	k_D	-2,52 E-02	3,41 E-10	-8,70 E-05	-3,46 E-06	-1,36 E-05	-2,10 E-07	-4,08 E-01	-4,17 E-01	9,42 E-03	-8,93 E-04
B2010.20.1d (PUR)	k_{A1A3}	6,70 E-02	6,44 E-10	1,66 E-04	1,43 E-05	2,81 E-05	8,52 E-08	9,22 E-01	9,25 E-01	1,92 E-01	1,27 E-01
B2010.20.1d (PUR)	k_{A4}	6,00 E-05	1,05 E-15	2,69 E-07	6,20 E-08	-8,79 E-08	2,24 E-12	8,33 E-04	8,33 E-04	3,27 E-05	8,47 E-04
B2010.20.1d (PUR)	k_{C2}	4,94 E-05	8,65 E-16	2,19 E-07	5,04 E-08	-7,13 E-08	1,84 E-12	6,85 E-04	6,85 E-04	2,69 E-05	6,97 E-04
B2010.20.1d (PUR)	k_{C4}	7,11 E-03	1,30 E-13	3,30 E-06	7,68 E-07	3,15 E-07	7,64 E-11	3,02 E-03	3,02 E-03	1,89 E-04	1,75 E-02
B2010.20.1d (PUR)	k_D	-2,22 E-02	3,41 E-10	-7,23 E-05	-2,60 E-06	-1,27 E-05	-2,10 E-07	-3,70 E-01	-3,78 E-01	9,55 E-03	2,86 E-03
B2010.20.1[e] (Cork)	k_{A1A3}	5,39 E-02	6,40 E-10	1,60 E-04	1,55 E-05	2,50 E-05	2,72 E-08	5,78 E-01	5,82 E-01	3,90 E-01	6,91 E-02
B2010.20.1[e] (Cork)	k_{A4}	9,34 E-05	1,64 E-15	4,19 E-07	9,64 E-08	-1,37 E-07	3,49 E-12	1,30 E-03	1,30 E-03	5,08 E-05	1,32 E-03
B2010.20.1[e] (Cork)	k_{C2}	4,28 E-05	7,49 E-16	1,90 E-07	4,37 E-08	-6,17 E-08	1,60E-12	5,94 E-04	5,94 E-04	2,33 E-05	6,03 E-04
B2010.20.1[e] (Cork)	k_{C4}	3,98 E-04	7,44 E-14	5,92 E-07	9,07 E-08	1,54 E-07	3,48 E-11	1,36 E-03	1,36 E-03	1,01E-04	1,98 E-03
B2010.20.1[e] (Cork)	k_D	-1,73 E-02	3,41 E-10	-4,81 E-05	-1,17 E-06	-1,13 E-05	-2,10 E-07	-3,05 E-01	-3,14 E-01	9,76 E-03	9,10 E-03

Macro-componente	Impatto	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.2a (Rock wool)	k_{A1A3}	8,12 E-02	3,62 E-12	1,33 E-04	1,58 E-05	1,21 E-05	4,00 E-09	6,11 E-01	6,11 E-01	1,02 E-01	1,56 E-01
B2010.20.2a (Rock wool)	k_{A4}	3,67 E-04	6,43 E-15	1,65 E-06	3,79 E-07	-5,37 E-07	1,37 E-11	5,10 E-03	5,10 E-03	2,00 E-04	5,18 E-03
B2010.20.2a (Rock wool)	k_{C2}	3,21 E-04	5,62 E-15	1,43 E-06	3,28 E-07	-4,64 E-07	1,20 E-11	4,46 E-03	4,46 E-03	1,75 E-04	4,53 E-03
B2010.20.2a (Rock wool)	k_{C4}	1,78 E-02	3,32 E-12	2,64 E-05	4,04 E-06	6,86 E-06	1,55 E-09	6,05 E-02	6,05 E-02	4,50 E-03	8,83 E-02
B2010.20.2a (Rock wool)	k_D	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00
B2010.20.2b (EPS)	k_{A1A3}	7,46 E-02	8,86 E-11	7,23 E-05	8,96 E-06	2,74 E-05	2,81 E-09	5,94 E-01	5,96 E-01	9,56 E-02	1,22 E-01
B2010.20.2b (EPS)	k_{A4}	3,58 E-04	6,27 E-15	1,61 E-06	3,70 E-07	-5,24 E-07	1,34 E-11	4,97 E-03	4,97 E-03	1,95 E-04	5,05 E-03
B2010.20.2b (EPS)	k_{C2}	3,13 E-04	5,48 E-15	1,39 E-06	3,20 E-07	-4,52 E-07	1,17 E-11	4,35 E-03	4,35 E-03	1,70 E-04	4,42 E-03
B2010.20.2b (EPS)	k_{C4}	2,09 E-02	3,31 E-12	2,65 E-05	4,06 E-06	6,85 E-06	1,56 E-09	6,06 E-02	6,06 E-02	4,50 E-03	9,40 E-02
B2010.20.2b (EPS)	k_D	-2,46 E-03	-4,97 E-14	-1,22 E-05	-7,17 E-07	-7,02 E-07	-4,49 E-11	-3,21 E-02	-3,21 E-02	-1,06 E-04	-3,12 E-03
B2010.20.2c (XPS)	k_{A1A3}	7,63 E-02	3,00 E-12	7,67 E-05	9,23 E-06	1,15 E-05	3,64 E-09	6,51 E-01	6,51 E-01	9,88 E-02	1,55 E-01
B2010.20.2c (XPS)	k_{A4}	3,59 E-04	6,29 E-15	1,61 E-06	3,71 E-07	-5,25 E-07	1,34 E-11	4,98 E-03	4,98 E-03	1,95 E-04	5,06 E-03
B2010.20.2c (XPS)	k_{C2}	3,14 E-04	5,50 E-15	1,39 E-06	3,20 E-07	-4,53 E-07	1,17 E-11	4,36 E-03	4,36 E-03	1,71 E-04	4,43 E-03
B2010.20.2c (XPS)	k_{C4}	2,29 E-02	3,32 E-12	2,66 E-05	4,09 E-06	6,87 E-06	1,57 E-09	6,08 E-02	6,08 E-02	4,52 E-03	9,78 E-02
B2010.20.2c (XPS)	k_D	-3,94 E-03	-7,96 E-14	-1,95 E-05	-1,15 E-06	-1,12 E-06	-7,18 E-11	-5,14 E-02	-5,14 E-02	-1,70 E-04	-5,00 E-03
B2010.20.2d (PUR)	k_{A1A3}	8,22 E-02	4,11 E-12	8,33 E-05	1,09 E-05	9,80 E-06	3,13 E-08	7,17 E-01	7,17 E-01	1,05 E-01	1,97 E-01
B2010.20.2d (PUR)	k_{A4}	3,59 E-04	6,29 E-15	1,61 E-06	3,71 E-07	-5,25 E-07	1,34 E-11	4,98 E-03	4,98 E-03	1,95 E-04	5,06 E-03
B2010.20.2d (PUR)	k_{C2}	3,14 E-04	5,50 E-15	1,39 E-06	3,20 E-07	-4,53 E-07	1,17 E-11	4,36 E-03	4,36 E-03	1,71 E-04	4,43 E-03
B2010.20.2d (PUR)	k_{C4}	2,11 E-02	3,34 E-12	2,77 E-05	4,37 E-06	6,92 E-06	1,57 E-09	6,12 E-02	6,12 E-02	4,53 E-03	9,58 E-02
B2010.20.2d (PUR)	k_D	-2,46 E-03	-4,99 E-14	-1,21 E-05	-7,15 E-07	-7,02 E-07	-4,52 E-11	-3,22 E-02	-3,22 E-02	-1,07 E-04	-3,12 E-03
B2010.20.2^e (Cork)	k_{A1A3}	7,57 E-02	2,30 E-12	8,06 E-05	1,16 E-05	8,25 E-06	2,27 E-09	5,46 E-01	5,46 E-01	2,04 E-01	1,68 E-01
B2010.20.2^e (Cork)	k_{A4}	3,62 E-04	6,35 E-15	1,63 E-06	3,74 E-07	-5,30 E-07	1,35 E-11	5,03 E-03	5,03 E-03	1,97 E-04	5,11 E-03
B2010.20.2^e (Cork)	k_{C2}	3,17 E-04	5,55 E-15	1,41 E-06	3,23 E-07	-4,57 E-07	1,18 E-11	4,40 E-03	4,40 E-03	1,72 E-04	4,47 E-03
B2010.20.2^e (Cork)	k_{C4}	1,77 E-02	3,31 E-12	2,63 E-05	4,03 E-06	6,84 E-06	1,55 E-09	6,03 E-02	6,03 E-02	4,48 E-03	8,80 E-02
B2010.20.2^e (Cork)	k_D	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00

Macro-componente	Impatto	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.2f (Lana di vetro)	k_{A1A3}	7,81 E-02	3,81 E-12	9,80 E-05	1,33 E-05	8,60 E-06	6,07 E-07	6,13 E-01	6,13 E-01	1,05 E-01	1,68 E-01
B2010.20.2f (Lana di vetro)	k_{A4}	3,61 E-04	6,32 E-15	1,62 E-06	3,73 E-07	-5,28 E-07	1,35 E-11	5,01 E-03	5,01 E-03	1,96 E-04	5,09 E-03
B2010.20.2f (Lana di vetro)	k_{C2}	3,16 E-04	5,53 E-15	1,40 E-06	3,22 E-07	-4,56 E-07	1,18 E-11	4,38 E-03	4,38 E-03	1,72 E-04	4,45 E-03
B2010.20.2f (Lana di vetro)	k_{C4}	1,77 E-02	3,31 E-12	2,63 E-05	4,03 E-06	6,83 E-06	1,55 E-09	6,03 E-02	6,03 E-02	4,48 E-03	8,80 E-02
B2010.20.2f (Lana di vetro)	k_D	5,96 E-04	-7,23 E-12	3,71 E-07	1,04 E-06	1,78 E-07	1,03 E-12	1,80 E-04	1,85 E-04	-7,20 E-05	-1,53 E-03

In relazione al macro-componente apertura, i coefficienti degli impatti sono identici per tutte le tipologie di apertura. Inoltre i coefficienti degli impatti sono impostati sul valore zero per il trasporto nel Modulo A (indicazione coeff.: k_{A4}), per l'operazione di discarica nel Modulo C (indicazione coeff.: k_{C4}) e per i benefici nel Modulo D (labelled k_D)

Di seguito si riportano i coefficienti degli impatti per il macro-componente apertura, il cui valore risulta diverso da zero.

Impatto	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	RPE_total	Non_RPE	Non_RER
k_{A1A3}	1,39 E-01	2,11 E-12	5,98 E-04	1,09 E-04	5,02 E-05	8,85 E-07	1,64 E+00	6,72 E-02	0,00 E+00	6,72 E-02	1,71 E+00	1,53 E-02
k_{C2}	3,52 E-04	4,82 E-15	2,24 E-06	3,07 E-07	2,10 E-07	1,33 E-10	4,63 E-03	3,99 E-04	0,00 E+00	3,99 E-04	4,84 E-03	0,00 E+00

impatto	NonRPE_total	SM	RSF	Non_RSF	NFW	HWD	Non_HWD	RWD	CR	MR	MER	EE
k_{A1A3}	1,73 E+00	0,00 E+00	2,14 E-05	1,97 E-04	6,22 E-04	0,00 E+00	2,25 E-01	3,36 E-05	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00
k_{C2}	4,84 E-03	0,00 E+00	8,67 E-06	1,87 E-05	2,64 E-06	0,00 E+00	2,68 E-02	8,47 E-08	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00	0,00 E+00