

LIFE CYCLE ASSESSMENT APPLICATA ALL'EDIFICIO

*Metodologia e casi
di studio sul sistema
fabbricato-impianto*



INDICE

Capitolo 1 - Il ruolo della life cycle assessment nella decarbonizzazione del settore edile	1
1.1 - I consumi energetici in Italia e i potenziali di risparmio energetico nel settore edile	1
1.2 - La Green Economy e il settore edile	7
1.3 - Il ruolo della metodologia Life Cycle Assessment	10
1.4 - Conclusioni	13
Capitolo 2 - Metodologia lca e standard di riferimento	17
2.1 - L'approccio ciclo di vita nelle politiche ambientali europee	17
2.2 - La definizione della LCA	19
2.3 - Le Norme di riferimento intersettoriali	22
2.3.1 - La Norma ISO 14044: Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida	23
2.3.2 - L'ILCD, International reference Life Cycle Data System, Handbook	24
2.3.3 - La PEF, Product Environmental Footprint, Guide	26
2.3.4 - Le etichette e le dichiarazioni ambientali	27
2.4 - Le Norme di riferimento per il settore building	28
2.4.1 - La Norma UNI EN 15978: Sostenibilità del settore costruzioni - Valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici - Metodo di calcolo	29
2.4.2 - La Norma UNI EN 15804: Sostenibilità del settore costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole chiave di sviluppo per categoria di prodotto	31
2.5 - Conclusioni	32
Capitolo 3 - Obiettivi e campo di applicazione	39
3.1 - Introduzione	39
3.2 - Obiettivi	39
3.3 - Il campo di applicazione	42
3.3.1 - Il sistema di prodotto e il diagramma di flusso preliminare	42
3.3.2 - La funzione, l'unità funzionale e il flusso di riferimento	43
3.3.3 - I confini del sistema	44
3.3.3.1 - Criteri di cut-off	46
3.3.3.2 - Processi multifunzionali e allocazione	47
3.3.3.3 - Modellazione consequenziale	48
3.3.4 - Il metodo di valutazione degli impatti e le categorie di impatto	49

3.3.5 - I requisiti riguardanti i dati.....	49
3.3.6 - Le caratteristiche della relazione finale.....	49
3.3.7 - I criteri per la revisione critica.....	50
3.4 - Conclusioni.....	50
Capitolo 4 - LCA e unità funzionale.....	53
4.1 - La scelta della unità funzionale in uno studio di LCA.....	53
4.2 - L'analisi della analisi della normativa di riferimento.....	54
4.2.1 - L'unità funzionale nelle principali norme internazionali.....	54
4.2.2 - L'unità funzionale nelle principali linee guida internazionali.....	57
4.3 - L'unità funzionale: analisi e discussione di esempi.....	59
4.3.1 - Esempi dal settore dei materiali da costruzione e dei componenti edili.....	59
4.3.2 - Esempi dal settore trasporti.....	63
4.3.3 - Esempi dal settore delle fonti rinnovabili di energia.....	66
4.4 - Le criticità nella scelta della UF e le possibili raccomandazioni.....	69
4.5 - Conclusioni.....	70
Capitolo 5 - Life Cycle Inventory e qualità dei dati.....	75
5.1 - La Life Cycle Inventory: modellazione e metodi di calcolo.....	75
5.1.1 - Le tipologie di dati impiegati nell'analisi di inventario.....	78
5.2 - La qualità degli studi di LCA: qualità dei dati e analisi dell'incertezza..	79
5.2.1 - La qualità dei dati: cosa comprende e come valutarla.....	79
5.2.2 - L'analisi di sensibilità e di incertezza.....	83
5.3 - I trend di ricerca e sviluppo nel campo della modellazione.....	85
5.4 - Conclusioni.....	86
Capitolo 6 - Procedure di allocazione.....	91
6.1 - Introduzione al problema dell'allocazione.....	91
6.2 - Le procedure di allocazione secondo la Norma UNI EN ISO 14044....	93
6.2.1 - La procedura 1: suddivisione dell'unità di processo e espansione dei confini del sistema.....	94
6.2.2 - La procedura 2: allocazione secondo criteri fisici.....	95
6.2.3 - La procedura 3: allocazione secondo altri criteri.....	97
6.3 - Le criticità nell'applicazione delle procedure di allocazione.....	97
6.4 - L'approccio attributivo e l'approccio consequenziale per la LCA.....	98
6.5 - Conclusioni.....	99
Capitolo 7 - Life Cycle Impact Assessment.....	103
7.1 - Le fasi della LCIA.....	103
7.1.1 - Le fasi obbligatorie.....	103
7.1.2 - Le fasi opzionali.....	103
7.2 - Catena causa-effetto degli inquinanti.....	104

7.2.1 - Metodi LCIA	104
7.2.2 - Metodi riferiti agli effetti di midpoint	105
7.2.3 - Metodi riferiti agli effetti endpoint	107
7.2.4 - Metodi ibridi	108
7.3 - Conclusioni	111
Capitolo 8 - Interpretazione	115
8.1 - Introduzione	115
8.2 - L'identificazione dei fattori significativi	117
8.2.1 - L'analisi dei contributi	118
8.3 - La valutazione	120
8.3.1 - Il controllo di completezza	121
8.3.2 - L'analisi di sensibilità e incertezza	121
8.3.3 - Il controllo di coerenza	122
8.4 - Conclusioni, limitazioni e raccomandazioni	123
8.5 - La fase di interpretazione negli studi di LCA relativi al sistema fabbricato-impianto	124
8.5.1 - L'analisi dei contributi nella LCA di un edificio	124
8.5.2 - L'analisi di sensibilità nella LCA di un edificio	124
8.5.3 - L'analisi di incertezza nella LCA di un edificio	125
8.6 - Conclusioni	125
Capitolo 9 - LCA applicata all'edificio: stato dell'arte su alcune questioni metodologiche	129
9.1 - Norme tecniche e linee guida metodologiche per gli edifici	129
9.1.1 - L'ISO/TC59/SC17 Sustainability in Building construction	129
9.1.2 - Il CEN TC 350 Sustainability of construction works	130
9.1.3 - Le linee guida per la valutazione LCA degli edifici	131
9.2 - La fonte dei dati e gli strumenti di calcolo	132
9.3 - I valori di riferimento	133
9.4 - Il ruolo dell'unità funzionale	134
9.5 - Il ruolo delle fasi del ciclo di vita dell'edificio	134
9.5.1 - I consumi di energia nella fase di uso dell'edificio	134
9.5.2 - Analisi costi efficacia LCA	136
9.5.3 - Riqualificazione versus demolizione e ricostruzione	138
9.5.4 - Il ruolo degli impianti	138
9.5.5 - I cicli di manutenzione e sostituzione nella fase di uso	139
9.5.6 - La durata dell'edificio	140
9.6 - LCA di edifici energeticamente efficienti	140
9.7 - Conclusioni	143

Capitolo 10 - Effetti energetico-ambientali di interventi di retrofit su un edificio residenziale monofamiliare in area mediterranea ...	151
10.1 - Introduzione.....	151
10.2 - Il ruolo della metodologia LCA nella valutazione delle prestazioni energetico-ambientali di un edificio.....	152
10.3 - La descrizione dell'edificio in studio	153
10.4 - I risultati principali della LCA dell'edificio esistente.....	154
10.5 - La LCA degli interventi di retrofit sull' edificio in esame.....	157
10.5.1 - La definizione degli obiettivi	157
10.5.2 - L'unità funzionale, confini del sistema e le principali assunzioni.....	157
10.5.3 - La qualità dei dati e l'analisi di inventario.....	159
10.5.4 - L'analisi degli impatti energetici e ambientali degli interventi di retrofit.....	159
10.5.5 - L'interpretazione dei risultati.....	160
10.5.6 - I benefici energetico-ambientali connessi agli interventi di retrofit.....	162
10.6 - Conclusioni.....	164
 Capitolo 11 - Life Cycle Energy nei Net Zeb: energia incorporata e consumo di energia in fase di uso.....	 167
11.1 - Introduzione.....	167
11.2 - Gli edifici a energia netta zero	168
11.3 - L'energia incorporata e di fase di uso	170
11.4 - La life cycle applicata ai net ZEB: confini del sistema e bilanci di energia.....	172
11.5 - Un caso studio italiano di Net ZEB: la Leaf House	173
11.6 - Conclusioni.....	177
 Capitolo 12 - Utilizzo della LCA nella definizione dei criteri per gli acquisti verdi di componenti e materiali edili.....	 181
12.1 - Introduzione.....	181
12.2 - Il quadro di riferimento europeo e italiano e le fonti normative del GPP	182
12.3 - Le prestazioni ambientali di materiali e componenti edili	183
12.4 - Il caso di studio dei serramenti esterni	185
12.4.1 - La Valutazione di Ciclo di Vita dei serramenti esterni.....	186
12.4.2 - Selezione dei criteri GPP per i serramenti esterni.....	191
12.5 - Utilizzo della LCA per il GPP di componenti e materiali da costruzione: vantaggi e criticità.....	193
12.6 - Conclusioni.....	194
 Capitolo 13 - La LCA applicata agli edifici alti.....	 199
13.1 - Importanza dell'analisi LCA per gli edifici alti.....	199
13.2 - Le fasi dell'analisi LCA.....	200

13.3 - La fase di produzione e costruzione: modulo A	201
13.3.1 - La fase di produzione: moduli A1, A2 e A3	202
13.3.2 - La sotto-fase di costruzione: moduli A4 e A5	203
13.4 - La fase di uso dell'edificio: modulo B	204
13.4.1 - Il ruolo della manutenzione, della flessibilità e dell'adattabilità nella fase di uso	204
13.5 - La fase di fine del ciclo di vita: modulo C	205
13.6 - Ulteriori approfondimenti specifici al caso degli edifici alti	207
13.6.1 - Analisi LCA di un modulo di facciata curtain wall	207
13.6.2 - Il legno come materiale alternativo a calcestruzzo e acciaio: conseguenze sull'analisi LCA di un edificio alto	209
13.6.3 - La non-sostenibilità degli edifici alti: il ruolo dell'altezza e dello sviluppo in pianta	211
13.7 Conclusioni	213
Capitolo 14 - La LCA di sistemi solari per il condizionamento	217
14.1 - Introduzione	217
14.2 - La LCA di sistemi solari per il condizionamento	217
14.2.1 - La definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio	217
14.2.1.1 - L'unità funzionale	218
14.2.1.2 - I confini del sistema	218
14.2.1.3 - La metodologia di valutazione di impatto e le categorie di impatto	220
14.2.2 - Analisi di inventario	220
14.2.3 - Risultati	220
14.3 - Conclusioni	223
Capitolo 15 - LCA di sistemi solari innovativi: i moduli DSSC	227
15.1 - Introduzione: la tecnologia DSSC e lo sviluppo dei sistemi solari innovativi	227
15.1.1 - La diffusione nel mercato fotovoltaico e le opportunità per l'integrazione architettónica	229
15.2 - Lo sviluppo di un prodotto innovativo in un'ottica di ciclo di vita	231
15.3 - Un caso di studio: dalla preparazione dei componenti fondamentali della cella alla fabbricazione del dispositivo fotovoltaico	232
15.3.1 - Gli obiettivi dell'analisi e le principali assunzioni	232
15.4 - La discussione dei risultati: confronto delle configurazioni DSSM	235
15.4.1 - Il confronto dell'applicazione alle finestre solari	237
15.4.2 - La fine vita e le opzioni di riciclaggio dei materiali	241
15.5 - Conclusioni	242

Capitolo 16 - La LCA di sistemi di accumulo impiagati nel settore edile..	247
16.1 - Introduzione.....	247
16.2 - L'analisi dello stato dell'arte	248
16.3 - La LCA di un sistema di accumulo: il caso di studio di una batteria con celle di tipo sodio cloruri di nichel	248
16.3.1 - La definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio	249
16.3.2 - Analisi di inventario	251
16.3.3 - Analisi degli impatti: risultati e discussione.....	253
16.4 - Conclusioni.....	256
 Capitolo 17 - La LCA di componenti finestrati innovativi.....	261
17.1 - Introduzione.....	261
17.2 - I componenti finestrati innovativi.....	262
17.3 - LCA di componenti finestrati	263
17.4 - Il caso di studio 1	264
17.4.1 - La descrizione del caso di studio	265
17.4.2 - Gli aspetti metodologici specifici per LCA e finestre tratti dal caso di studio	266
17.4.3 - La discussione dei risultati	269
17.5 - Il caso di studio 2.....	271
17.5.1 - La descrizione del caso di studio	271
17.5.2 - Il processo di scaling-up: dalla scala di laboratorio alla scala industriale	272
17.5.3 - L'inventario dei processi produttivi: come effettuare un'analisi ambientale comparativa	273
17.6 - Il caso di studio 3	275
17.6.1 - La descrizione del caso di studio	275
17.6.2 - La descrizione di strumenti specifici basati sulla metodologia LCA sviluppati per supportare il processo di design in un progetto R&D di componenti finestrati	277
17.7 - Conclusioni.....	279
 Capitolo 18 - Valutazione del fine vita nella Life Cycle Assessment.....	287
18.1 - Introduzione.....	287
18.2 - Gli aspetti metodologici nella valutazione degli impatti del fine vita	290
18.3 - Due casi di studio per la valutazione degli impatti di materiali riciclati nel ciclo di vita dei prodotti.....	294
18.3.1 - Utilizzo di plastiche riciclate per la produzione di una stampante.....	294
18.3.2 - Analisi degli impatti per il riciclaggio di un pannello fotovoltaico	296
18.4 - Conclusioni.....	298
 Glossario	303
Acronimi	305
Autori	307

PRESENTAZIONE

La metodologia Life Cycle Assessment, la LCA, rappresenta a livello di policy ambientale europea, da oltre un decennio, un importante riferimento non cogente nella redazione di significative iniziative politiche e legislative.

La pionieristica metodologia degli anni '90 è dunque diventata matura e sempre più impiegata come metrica della sostenibilità e come riferimento per valutare le eco-prestazioni di prodotti, processi e servizi.

A fronte degli straordinari progressi registrati e delle significative potenzialità di ulteriore diffusione nell'impiego del metodo, nel panorama nazionale sono ancora oggi scarsamente presenti volumi specifici dai forti contenuti divulgativi accoppiati al necessario rigore metodologico.

AICARR da anni ormai ha compiuto sforzi rilevanti nelle pubblicazioni di testi frutto del lavoro di ricerca e approfondimento scientifico-culturale svolto in seno al tessuto associativo, in particolare su tematiche non adeguatamente e sufficientemente divulgate dalla letteratura esistente.

Questo volume pertanto contribuisce a colmare una evidente lacuna e costituisce un nuovo tassello dell'attività formativa dell'Associazione AICARR nel campo dell'edilizia sostenibile, e in particolare sulla LCA applicata all'edificio.

Il libro, che si avvale dei contributi tecnico-scientifici di alcuni tra i massimi esperti italiani del settore, è caratterizzato da un marcato rigore metodologico combinato ad un linguaggio chiaro ed efficace, che ne accentuano le caratteristiche di divulgazione. La prima parte è dedicata alla descrizione della metodologia, strutturata coerentemente ai contenuti delle norme LCA della famiglia ISO 14000, mentre la seconda presenta una varietà di articolati casi studio che arricchiscono la parte pratica del volume e declinano i contenuti metodologici descritti nella prima parte favorendo la comprensione del metodo ai lettori.

Il testo fornisce in modo sintetico e chiaro le conoscenze e gli elementi per applicare la LCA all'edificio, evidenziando anche i vulnus metodologici e alcuni possibili futuri percorsi di ricerca.

Concludo infine con un sentito ringraziamento al curatore e agli autori per la completezza, il rigore e la qualità del lavoro svolto.

Francesca R. d'Ambrosio Alfano
*Coordinatore della Sottocommissione Editoria della Commissione Cultura
di AiCARR per il triennio 2014-2016*

INTRODUZIONE

Le terme romane sono una delle più importanti testimonianze dell'evoluzione della tecnica e della tecnologia del mondo romano. Infatti è nelle terme o comunque intorno a esse che si sviluppano le conoscenze idrauliche, termotecniche, architettoniche e strutturali, passando da ambienti bui e angusti quali le lavatrine, in cui l'acqua veniva riscaldata con i bracieri, ai fasti delle Terme di Caracalla.

Ma le terme testimoniano anche l'evoluzione della società romana, la condizione della donna, l'attenzione per l'igiene.

In questa prima parte, a valle di un capitolo che sintetizza la storia degli impianti termali in modo da evidenziare soprattutto l'evoluzione della tecnologia del riscaldamento, sono descritti la struttura di questi impianti e il funzionamento dell'impianto termico.

CAPITOLO 1

ORIGINI E SVILUPPO DEGLI IMPIANTI BALNEARI

1.1 - Introduzione

Non vi è argomento che non sia collegato a una serie di problemi, di dati contrastanti e contraddittori. Cerchiamo rassicuranti certezze, ma spesso la realtà ci pone dinanzi a un bivio senza indicazioni del tutto affidabili. Così è per le antiche terme. Certo, la parola in sé evoca gli splendori della civiltà romana, il fasto architettonico di edifici che invitavano alla socialità, alla ricerca del benessere, alla pratica igienica e sportiva. Ma i primi edifici concepiti esclusivamente per i bagni, quando apparvero? Chi li progettò? Furono i Greci o i Romani? Questione intrigante, con un pizzico di mistero che l'archeologia non ha ancora risolto del tutto, sebbene molto si sia scavato e vari momenti di questo lungo processo abbiano ricevuto più luce.

In definitiva, non esiste ancora una risposta univoca: la contaminazione tra il mondo greco e quello romano, la diversità delle situazioni locali, hanno avuto senz'altro il loro peso. Se aggiungiamo la difficoltà di interpretare alcuni resti archeologici, l'ambiguità di talune fonti scritte, e il cambiamento dei costumi dei due popoli nel corso dei secoli, vediamo che la questione non è di facile soluzione. Occorre anzitutto differenziare gli impianti balneari dalle terme: i primi, sorti un po' dovunque nel mondo antico, sono costituiti da ambienti la cui disposizione è casuale, le seconde, evoluzione e sistematizzazione architettonica e tipologica dei primi, sono tipiche della romanità.

In quest'ottica, la tradizione afferma che le prime terme sarebbero state innalzate in Campania, come attestano le Stabiane a Pompei e le Centrali di Cuma entrambe risalenti al II secolo a.C. Questa regione meridionale è stata indicata da più parti come la culla della tipologia termale e d'altra parte è innegabile che sia stata un terreno d'incontro con la grecità: basti pensare a Velia, Paestum e Cuma, tre gemme di un diadema ellenico.

La natura vulcanica dei Campi Flegrei, a occidente di Napoli, ha fornito acque termali e caldi vapori per un efficace ed economico riscaldamento di vasche e ambienti, una peculiarità tipica soprattutto di Baia, soggiorno ambito di tutti i romani che si trovarono al vertice del potere e della ricchezza. Non meraviglia, di

conseguenza, che a Baia e nelle altre località campane l'architettura romana abbia avuto i suoi fasti e le sue ardite innovazioni.

Ma non anticipiamo. Come in tutte le storie, è bene partire dall'inizio e ripercorrere le fasi del dibattito tuttora aperto, riservando particolare attenzione allo sviluppo degli impianti di riscaldamento.

1.2 - Gli impianti balneari dal mondo greco a quello romano

I primi impianti balneari nel mondo greco si trovano nei ginnasi.

In origine il ginnasio era il luogo in cui i greci si allenavano per le competizioni atletiche che venivano disputate nello stadio. Va ricordato che in Grecia si dava grande importanza allo sviluppo fisico del corpo: le capacità fisiche erano ritenute altrettanto importanti di quelle intellettuali. L'attività fisica, considerata come componente importante dell'educazione, veniva inizialmente svolta in semplici cortili nei quali i greci si addestravano alla lotta e al pugilato.

Nel periodo arcaico e all'inizio di quello classico queste strutture, che rappresentano i primi ginnasi e che erano destinate soprattutto ad attività di tipo militare, erano fuori città; i più antichi ginnasi di epoca arcaica di cui esistono testimonianze certe sono l'Accademia¹ e il Liceo² di Atene, la cui fondazione è attribuita a Pisistrato o ai suoi figli e che risalgono a non prima della metà del VI secolo a.C. Le fonti scritte riguardanti i due ginnasi in questione raccontano di monumenti a carattere religioso, mentre le pitture vascolari restituiscono le immagini di installazioni sportive, quali piste scoperte per la corsa a piedi, la lotta e il pugilato. I ginnasi erano dotati di locali in cui gli atleti potevano spogliarsi, riporre i propri attrezzi e riposare: in qualche modo, i precursori degli *apodyteria* romani di cui si dirà nel seguito (Delorme, 1960).

Con il passare del tempo, i ginnasi, tutti pubblici, vennero inseriti nel contesto urbano (AA.VV., 1977; Delorme, 1960; Nielsen, 1990) e integrati in un più vasto complesso architettonico che era anche luogo di ritrovo e di cultura in cui venivano organizzate conferenze e mostre.

La palestra nacque come annesso del ginnasio, al punto che i due termini spesso si confondono (Carettoni, 1963), e divenne poi un elemento dell'architettura romana, parte integrante degli edifici termali: al Capo XI del libro V del *De Architectura*, Vitruvio fornisce la descrizione della palestra, sottolineando che questa non rientra nella *italicae consuetudinis* ma è tipica della tradizione greca. Secondo Vitruvio, la palestra è una struttura di forma quadrata o rettangolare, formata da un peristilio

¹ Il ginnasio prende il nome da un bosco a nord di Atene, dedicato all'eroe Ακαδημιος, nei cui pressi, intorno al 398 a.C., Platone iniziò il suo insegnamento e dopo qualche anno acquistò anche un terreno, da cui la scuola filosofica da lui fondata prese il nome di Accademia platonica, che mantenne anche dopo il trasferimento ad Atene [2]

² In una località a est di Atene, in un sito adatto alle evoluzioni militari, si trovava un santuario dedicato ad Apollo Liceo. Pericle vi fondò un ginnasio, poi ampliato da Licurgo. Nel 335 a.C. circa Aristotele vi aprì una propria scuola, che rimase sede dei peripatetici [2].

porticato su tutti e quattro i lati; sul portico rivolto a mezzogiorno, dotato di doppia fila di colonne in modo da essere protetto dagli schizzi di pioggia durante le tempeste, affacciavano i seguenti ambienti:

- nel mezzo, l'*ephebeion*, sala con sedili, larga due terzi della lunghezza, destinata agli esercizi dei giovani;
- a destra dell'*ephebeion*, il *coryceum*, locale in cui probabilmente si conservavano i sacchi di cuoio e le bisacce con le provviste per il pranzo, con accanto il *conisterium*, locale per le stropicciature di sabbia dei lottatori;
- tra il *conisterium* e l'angolo del portico, il *loutron*, stanza per il bagno freddo, che Vitruvio chiama *frigida lavatio*;
- a sinistra dell'*ephebeion*, l'*elaeothèsium*, locale adibito alle unzioni, il *frigidarium* e, all'angolo del portico, il *propnigium*, cioè la bocca del forno;
- all'interno, in corrispondenza del *frigidarium*, la *concamerata sudatio*, lunga il doppio della larghezza, in cui si distinguevano in un angolo il *laconicum*, locale per il bagno di sudore, e di fronte a questo la *calida lavatio*, locale destinato al bagno caldo, generalmente riservato ad anziani e a malati³;
- le *exedrae*, sale spaziose destinate alle conversazioni filosofiche;
- le sale lettura e le biblioteche (Curti, 1873; Fougères, 1896; AA.VV., 1977; Moreschini, 1993).

All'esterno del peristilio, sempre secondo Vitruvio, erano previsti tre portici, uno all'uscita dal peristilio e gli altri due costruiti con un margine laterale sopraelevato, di larghezza non inferiore a 3 metri sia dal lato del muro che da quello del colonnato, con una parte centrale a livello più basso nella quale gli atleti potevano allenarsi nel periodo invernale senza disturbare coloro che passeggiavano sui margini. Vitruvio chiama questo portico *xystus*, specificando che con questo termine i Greci intendevano appunto uno spazio al coperto, contrariamente a quanto avrebbero poi fatto i Romani, che lo useranno per indicare uno spazio all'aperto⁴. In Figura 1.1 è riportata una pianta di ginnasio con palestra.

In Grecia, prima del V secolo a.C., il luogo pubblico deputato al bagno, ma solo per gli uomini, era il ginnasio di cui si è detto; con il passare dei secoli, si diffuse il bagno, *balaneion*⁵, generalmente privato e aperto anche alle donne (Nielsen, 1990). A volte lo stesso stabilimento veniva identificato come ginnasio o come *balaneion* (Yegül, 2010).

Il primo edificio termale pubblico greco fu realizzato ad Atene nella seconda metà del V secolo a.C. Questo tipo di impianto, che si diffuse rapidamente in tutto il Mediterraneo, era caratterizzato da locali circolari o rettangolari, in cui

³ Da notare che non erano presenti gli ambienti caldi caratteristici delle terme romane, il *tepidarium* e il *calidarium*, in quanto i frequentatori della palestra si riscaldavano con l'esercizio fisico.

⁴ Nel libro VI, X Vitruvio riporta esempi di nomi latini che sono derivati da quelli greci, ma hanno significato diverso.

⁵ Bagno, edificio per bagni (Rocci, 1971); non ha niente a che fare con la palestra.

era possibile prendere il bagno per la pulizia personale stando seduti in vasche a semicupio e venendo aspersi con acqua riscaldata in appositi recipienti metallici appoggiati, esposti alla fiamma di fornaci; non c'erano ambienti dedicati alla funzione di spogliatoio e in alcuni casi erano previsti locali separati per uomini e donne (Trümper, 2017).

Il passaggio dal balaneion al bagno riscaldato fu graduale (Nielsen, 1985); già nel III secolo a.C., nella Sicilia Orientale e in Magna Grecia apparirono bagni pubblici con due sezioni, in cui erano ancora presenti gli ambienti con le vasche per la pulizia personale, ai quali si affiancarono altri locali destinati a spogliatoio, bagno tiepido e bagno caldo, che nel mondo romano saranno identificati come apodyterium, tepidarium e caldarium. Esempi di queste terme sono stati rinvenuti a Gela, Megara Hyblaea, Siracusa, Morgantina, Caulonia e Velia.

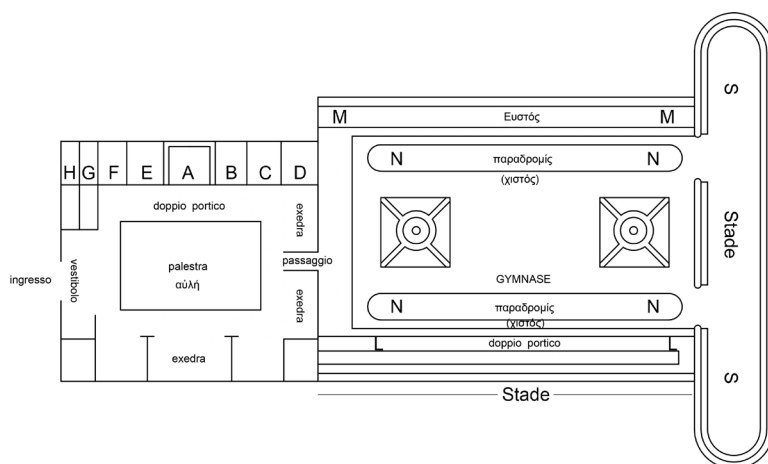


Figura 1.1 - Pianta di ginnasio con palaestra. Da (Fougères, 1896, modificata).

In particolare, le terme di Velia, dettagliatamente descritte in (Greco, 2014), hanno due ambienti principali: uno circolare, una tholos lungo la cui circonferenza dovevano essere installate circa 20 vasche in terracotta a semicupio, e uno rettangolare sulla cui parete di fondo è posta una larga vasca in muratura, interamente rivestita di cocciopesto, destinata ai bagni collettivi. L'impianto è dotato di un sistema di riscaldamento costituito da una fornace esterna e da un sistema di canali che convogliavano i fumi sotto al pavimento, in un vano "a bottiglia" che, come mostrato in Figura 1.2, presenta sei pilastri realizzati con i caratteristici mattoni della città, i cosiddetti mattoni velini, che sembrano costituire una testimonianza unica nel processo di elaborazione del pavimento sospeso vitruviano (Greco e Di Nicuolo 2013; Greco 2014).

Agli ultimi decenni del IV secolo a.C. risalgono le prime testimonianze di sistemi di riscaldamento dell'aria negli ambienti termali con canali posti al di sotto del

pavimento, all'interno dei quali circolavano i gas di combustione provenienti da un focolare posto all'esterno del vano; ne sono un esempio l'impianto di Gortina, in cui il sistema di riscaldamento è costituito appunto da un focolare dal quale parte un canale che si dirama in tre bracci che corrono sotto l'ambiente da riscaldare e si ricongiungono a formare una circonferenza, e la prima fase di un impianto termale a Olimpia, databile circa al 300 a.C. (Greco, 2014).

Si tratta di impianti ancora rudimentali, ma che indubbiamente costituiscono un passo avanti nella tecnica del riscaldamento a pavimento, che sarà perfezionata con il passare degli anni e con il contributo dei Romani: ne sono un esempio le Terme Stabiane di Pompei, descritte al Capitolo 5, in cui il modello greco fu negli anni modificato con l'aggiunta di elementi quali le intercapedini per il riscaldamento delle pareti verticali e il collegamento con gli acquedotti, che permise la realizzazione di grandi vasche con acqua fredda, di cui si parla al paragrafo 3.2.1.3.

Ciò che è certo e indiscutibile è che dalla contaminazione tra la cultura e la tecnica del mondo greco e di quello romano è nato un sistema di riscaldamento degli ambienti che nel XXI secolo è ancora utilizzato.



Figura 1.2 - Terme ellenistiche di Velia. Vano “a bottiglia”. Da (Greco, 2014).

1.3 - Le terme romane

A partire dal III secolo a.C., nelle case dei ricchi romani cominciarono ad apparire i primi bagni, le lavatrinae⁶ o, nella forma contratta, latrinae (Saglio, 1877; Sgobbo, 1928; Carcopino, 1939); i primi esempi si trovano in alcune case rurali del Lazio e della Campania, dove sono stati rinvenuti ambienti riscaldati con pietre o che, oltre alle pietre, presentano rudimentali caldaie (Yegul, 2010). Si trattava essenzialmente (Staccioli, 1990) di locali angusti, poco aerati e illuminati, dotati di una panca e di una tinozza, in cui ci si lavava quotidianamente braccia e gambe e, ogni nove giorni, in occasione del mercato, tutto il corpo (Curti, 1873; Saglio, 1877).

⁶ Dal verbo lavare

Le lavatrine erano poste vicino alla cucina, della quale utilizzavano il focolare per scaldare l'acqua, oltre alle eventuali canalizzazioni di scarico. Una testimonianza viene da Ausonio, che nelle *Ephemeris* scrive: "concedimi di lavarmi con acqua di fonte le mani, la bocca e gli occhi".

Col passare del tempo, il termine *latrina* passò a indicare (Thédenat, 1896b) l'insieme bagno-scarico d'acqua, per poi arrivare, con la definitiva affermazione dei bagni pubblici, a indicare solo lo scarico; nelle abitazioni private dei ricchi la *latrina* fu sostituita da bagni ampi, ben illuminati e riscaldati (Brando e Contiero, 1993).

1.3.1 - *Thermae e balneae*

I primi bagni pubblici furono aperti solo a cavallo tra il III e il II secolo a.C.⁷, quando le remore legate al fatto di bagnarsi in pubblico furono superate dal desiderio di igiene e pulizia; la loro gestione era affidata, secondo quanto tramandato da Seneca (Nielsen, 1985), agli edili.

A questo proposito, molto c'è da capire sulla differenza tra i diversi tipi di bagni: la differenza tra *balneae* e *thermae* è tuttora argomento di discussione, così come il significato di bagno pubblico, che potrebbe significare di proprietà pubblica ma anche aperto al pubblico (Maréchal, 2012).

Secondo quanto riportato da Varrone (Curti, 1873; Carcopino, 1939, Nielsen, 1985), per indicare il bagno privato si utilizzava il termine *balneum*⁸, al singolare, mentre i bagni pubblici presero il nome di *balneae*, al plurale perché erano divisi in due sezioni, maschile e femminile (Tsiolis, 2006); questa differenza tra il significato dei due termini è confermata anche da Cicerone nelle *Epistulae ad Atticum* nell'orazione *Pro Sexto Roscio*. In età imperiale, sempre secondo quanto riferito da Varrone (Nielsen, 1985), anche i bagni pubblici venivano chiamati al singolare, *balneum*. Secondo altri Autori (Curti, 1873; Saglio, 1877), i bagni pubblici erano indicati con il termine *balnearia*⁹. Altri ancora, come riportato da Fagan (2002), sostengono che i *balnea* non fossero riscaldati, contrariamente alle *thermae*; Fagan presenta altre tre ipotesi di differenziazione: la prima riguarda l'espansione, nel senso che le *balneae* occupavano un'area inferiore a quella delle terme, la seconda si riferisce alla semplicità delle prime contrapposta alla sfarzosità delle seconde, mentre la terza considera la proprietà, privata per le prime e pubblica per le seconde, in contrapposizione con quanto sostenuto da Varrone. Yegül (2010) riferisce di un'iscrizione ritrovata a Lanuvium, l'odierna Lanuvio sui Colli Albani, e citata nel *Corpus Inscriptionum Latinarum*, in cui si dice che le *thermae* sostituiscono le *balneae* che sono obsolete e fuori uso.

⁷ Catone, vissuto tra il 234 e il 149 a.C., racconta che da bambino non si bagnava; Seneca, nato nel 4 a.C. e morto nel 65 d.C., descrivendo il locale da bagno della casa di Scipione l'Africano a Literno, parla di una stanza piccola, con una feritoia per finestra, e racconta che per lavarsi quotidianamente braccia e gambe Scipione usava acqua torbida, che diventava fangosa dopo la pioggia.

⁸ La radice *baln-* viene dal greco βαλανειον.

⁹ *Balneae* è plurale di *balnea*, femminile; *balneum* è singolare, neutro.

In realtà, questo argomento è oggetto di dibattito tra i ricercatori, in quanto non esistono fonti certe. Ciò che sembra chiaro è che in epoca repubblicana il termine *thermae* non veniva utilizzato; la sua prima attestazione ricorre infatti nel I secolo d.C., a proposito delle Terme di Nerone (Maréchal 2015).

Nella sua *Naturalis Historia*, Plinio parla dei centosettanta *balneae* presenti a Roma alla sua epoca e i Cataloghi Regionari¹⁰ censiscono ottocentocinquantasei *balneae* e undici terme (Fagan, 2002).

1.3.2 - L'evoluzione delle terme

Inizialmente piccoli, poco confortevoli, riscaldati con bracieri (Staccioli, 1990), con una sezione maschile e una femminile (Saglio, 1877), i bagni pubblici si svilupparono rapidamente poiché offrivano a tutti la possibilità di prendere un bagno caldo con una modica spesa. In alcuni casi essi vennero fatti costruire da benefattori (Carcopino, 1939), che ne traevano un ritorno in termini di popolarità; in altri casi, invece, furono fatti erigere da imprenditori che ne ricavano un utile economico. Erano formati tipicamente da tre locali: il *calidarium* (ad alta temperatura), il *tepidarium* (a temperatura media) e il *frigidarium* (a bassa temperatura), ricordando in questo non solo il ginnasio greco, come si è visto, ma anche i bagni della Turchia (Gell, 1832). Nel 33 a.C., secondo quanto riferito da Plinio, Agrippa, genero di Augusto in carica come edile e delegato alla sorveglianza e alla manutenzione degli impianti termali, fece costruire a Roma 170 *balinea gratuita* (Pasquinucci, 1993) accollandosi personalmente le spese di ingresso (Carcopino, 1939; Staccioli, 1990). Tra il 25 e il 12 a.C., lo stesso Agrippa fece costruire a proprie spese, nel Campo Marzio, i bagni che presero il suo nome e per i quali volle che l'ingresso fosse per sempre gratuito (Nielsen, 1990). In questi bagni, dei quali purtroppo non è possibile ammirare se non pochi ruderi, venne introdotto per la prima volta il *laconicum* (Staccioli, 1990), locale riscaldato in cui le persone sudavano e del quale si parlerà diffusamente nel Capitolo 2. L'acqua era fornita da un apposito acquedotto, l'Aqua Virgo, inaugurato nel 19 a.C., che partiva dai Colli Albani e trasportava circa 100 · 103 m³/die. I bagni di Agrippa furono i primi a prendere il nome di terme, dal greco *θερμαι*, sorgenti calde, rappresentando forse un primo esempio di fusione dell'impianto balneare, il *balneum*, con il ginnasio di derivazione greca.

A partire dal 19 a.C. la struttura delle terme si arricchì di sempre nuovi elementi volti ad aumentare il comfort degli utenti; il complesso termale comprendeva non più solo i bagni veri e propri, ma anche una piscina, sale di ristoro, negozi, saloni, palestre, spacci, locali per l'acquisto di cibi e bevande, locali per massaggi, e un

¹⁰ I Cataloghi Regionari sono due diverse versioni, *Curiosum Notitia*, di un originario catalogo delle 14 regioni in cui era divisa la Roma augustea. La redazione dell'opera, che ancora oggi rappresenta, il principale riferimento per la topografia romana, risale soprattutto all'età diocleziana, con l'inserimento di ulteriori edifici nel corso del IV secolo d.C. [2]. I Cataloghi contengono un elenco dei monumenti urbani suddivisi per ciascuna regione, della quale viene fornita la lunghezza del perimetro.

porticato, *xystus* (Staccioli, 1990; De Jorio, 1822). Le terme divennero quindi luoghi di relazioni sociali, in cui trascorrere piacevolmente il tempo facendo attività fisica, bagnandosi, discutendo di affari, politica e cultura: veri e propri punti di aggregazione della popolazione; nelle terme imperiali era anche possibile ascoltare conferenze e concerti, assistere a spettacoli teatrali, trattenersi nelle biblioteche o passeggiare in ampi giardini.

In tal modo le terme assunsero un aspetto sempre più grandioso e furono sempre più dotate di arredi importanti e costosi: Plinio riferisce (Breton, 1855; Curti, 1873) che nella sezione femminile delle terme del Palatino erano utilizzati mobili in argento, nelle terme suburbane di Ercolano è stato ritrovato un listino prezzi in cui si fa riferimento ai cibi e alle bevande acquistabili in una taberna e Seneca paragona, non senza ironia, la semplice lavatrina in cui nel II secolo a.C. si sciacquava Scipione, il vincitore di Annibale, con le sontuose terme sorte nei secoli successivi. In particolare, la testimonianza di Seneca può essere considerata una prova della diffusione degli stabilimenti termali e di quanto questi fossero lussuosi. Va poi ricordato che molti capolavori dell'arte romana a noi pervenuti si trovavano in origine nelle terme, delle quali costituivano un ornamento: basti citare il Toro Farnese, la più grande scultura dell'antichità giunta fino a noi, proveniente dalle Terme di Caracalla a Roma e conservata al Museo Nazionale di Napoli, o il gruppo del Laocoonte, che si trovava nelle Terme di Traiano, sempre a Roma, e che può essere ammirato nei Musei Vaticani.

Anche le terme private ebbero un ruolo importante, in quanto costituivano uno status symbol: Cicerone e il suo entourage ne facevano grande uso, Giovenale, Marziale e Stazio ne esaltavano la bellezza e l'utilità. In generale, le terme private occupavano circa il 5% dell'area della superficie dell'abitazione e si trovavano accanto alle cucine o, in qualche caso, accanto agli ambienti di soggiorno (Papi, 1999). In questo senso, le terme pubbliche rappresentavano un contraltare a quelle private: un luogo di lusso di cui poteva godere anche il popolo, che non poteva permettersi bagni privati. Solo alcuni intellettuali, in primis Seneca e Tacito, ebbero più volte occasione di criticarne l'uso, e non solo quello privato: per loro il concetto di *therma* era associato a quelli di *voluptas* e *libidines*, come testimoniato, tra l'altro, da una iscrizione rinvenuta a Serdjilla, in Siria, riportata da Prentice e Butler nel loro testo *Mosaic pavement and inscription from the bath at Serdjilla (Central Syria)* edito a Parigi nel 1901 per i tipi della Leroux (Yegul, 2010). Per Seneca, la virtù era da ricercare nei luoghi della politica e della gestione della città, non certo laddove impera il piacere.

La costruzione delle terme rappresentò spesso anche un veicolo di propaganda abbondantemente sfruttato in età imperiale sia a Roma che ai confini dell'Impero da personaggi pubblici, come Agrippa, e dagli imperatori: si pensi alle Terme di Diocleziano e a quelle di Tito, in Figura 1.3. Anche i privati spesso affiancavano la pubblica amministrazione nella costruzione delle terme con la cosiddetta *beneficentia*, ricavandone grandi vantaggi a livello di popolarità e prestigio. La *beneficentia*, oltre che nella costruzione, si manifestava anche in altre forme

(Pasquinucci, 1993), quali la concessione dell'ingresso gratuito o la fornitura di materiale utile alla conduzione dell'impianto (per esempio legno per le caldaie, profumi e unguenti, olio, arredi). A testimonianza di ciò, spesso nelle iscrizioni delle terme compare la formula "omni cultu perfectas", a testimoniare appunto l'intenzione dell'evergete di donare non solo l'edificio termale, ma anche tutto ciò che era necessario per il suo funzionamento (Manderscheid, 1997).

Gli edifici termali erano presenti in tutto il mondo romano, così come erano diffuse le terme nelle ville (Martins, 2004)¹¹.

Una nota classificazione, che qui sarà seguita, è quella che distingue le terme, sulla base della loro funzione, in pubbliche, private e militari, a prescindere dalle dimensioni e dall'allestimento (Manderscheid, 1997).

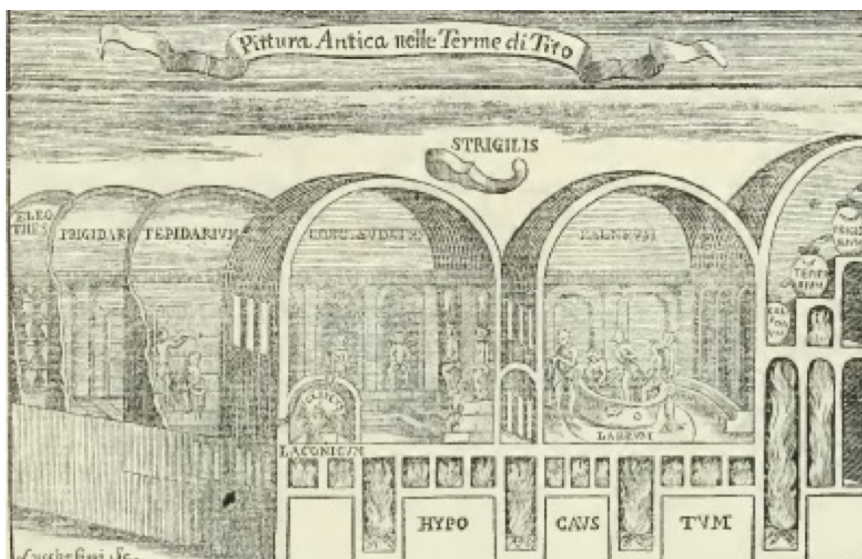


Figura 1.3 - Le Terme di Tito. Da (Galiani, 1790).

1.3.3 - L'utenza delle terme romane

In epoca repubblicana (Alessi, 1993) si usava bagnarsi una volta alla settimana; in seguito la frequenza aumentò fino ad arrivare a più bagni al giorno, un'abitudine criticata da molti romani che ritenevano fosse causa di malattia e addirittura di morte (Curti, 1873; Breton, 1855; Carcopino, 1939), a causa dello stress termico ripetuto. I segnali di apertura e chiusura erano dati da una campanella, il tintinnabulum o aes thermarum, in Figura 1.4.

L'ingresso alle terme era consentito a tutti con il pagamento di una somma piccolissima, un quadrans, equivalente a un quarto di un asse: per avere un'idea, si pensi che nella Pompei del 79 d.C. un asse era il prezzo di mezzo chilo di pane (Etienne, 1977).

¹¹ In rete è disponibile un suggestivo video realizzato dalla National Geographic Society [1].



Figura 1.4 - Il tintinnabulum.

I bambini e alcune classi sociali, quali gli schiavi, godevano dell'accesso gratuito (Staccioli, 1990); le donne, invece, pagavano una quota più elevata (Saglio, 1877; Sangriso, 1993).

Secondo quanto riferito da Varrone nel suo *De lingua latina*, gli uomini e le donne si bagnavano in locali separati. Se i locali per i bagni erano unici, i due sessi potevano usufruirne in orari diversi; in particolare il complesso termale sembra aprisse all'ora V; l'accesso per le donne era previsto dall'ora V all'ora VIII in inverno o IX in estate; quindi potevano entrare gli uomini, fino all'ora XI in inverno o XII in estate (Carcopino, 1939; Sangriso, 1993). La corrispondenza tra il nostro orario e quello romano è riportata in Figura 1.5: i Romani dividevano la giornata di luce in 12 parti, la cui durata andava da 75 minuti nella stagione estiva a 45 in quella invernale. Durante l'impero di Domiziano e poi in quello di Traiano, gli uomini e le donne si bagnavano negli stessi locali, i *communia*, anche se molte donne, soprattutto le ricche, preferivano utilizzare i bagni privati. Tra il 117 d.C. e il 138 d.C. Adriano, con l'editto postulato dall'affermazione "*Lavacra pro sexibus separavit*", decretò la separazione dei locali destinati agli uomini e alle donne in nome della morale; nel caso in cui lo stabilimento non prevedesse due sezioni diverse, venivano adottati orari differenziati: il mattino era riservato alle donne. In ogni caso, le regole venivano adattate alle realtà locali.

Sempre Adriano, secondo quanto riportato nella *Historia Augusta*¹², stabilì che in alcune ore del giorno, in particolare prima dell'ora X, le terme a Roma venissero riservate agli ammalati, in modo da evitare contagi. In realtà, non si ha certezza che questo avvenisse, anche perché (Fagan, 2002) le motivazioni non sono molto

¹² Raccolta di biografie dell'età imperiale che comprendeva le vite degli imperatori, cesari, pretendenti e usurpatori da Adriano a Numeriano [2].

GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE

AiCARR, Associazione italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, contribuendo al progresso delle tecnologie impiantistiche e alla definizione delle normative relative alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia termica. Nata nel 1960 come costola italiana della prestigiosa associazione statunitense ASHRAE, AiCARR riunisce oggi circa 2000 associati di varia estrazione: progettisti, docenti, installatori e manutentori, aziende produttrici, funzionari di Enti e Agenzie governative, istituzioni territoriali, nazionali e internazionali, studenti e ricercatori. La presenza nelle sedi accademiche e istituzionali dove si progetta il futuro energetico del nostro Paese fa di AiCARR un punto di riferimento essenziale per la definizione delle strategie e delle politiche energetiche e un interlocutore insostituibile per chiunque si occupi di efficienza energetica, qualità ambientale, fonti rinnovabili e uso consapevole dell'energia.

LE COMPETENZE CONDIVISE SONO ALLA BASE DI OGNI PROGRESSO

Accrescere la cultura tecnica del settore e la professionalità dei Soci, condividere know-how, redigere e diffondere linee guida di supporto nella pratica professionale, dare un appoggio concreto al mondo imprenditoriale che si occupa di temi energetici, fornire il proprio contributo in ambito normativo sono i principali impegni che AiCARR svolge attraverso:

- Convegni nazionali e internazionali, webinar, seminari, workshop, tavole rotonde
- Incontri tecnici e visite a impianti e realizzazioni d'avanguardia
- Commissioni di studio e coordinamento di attività tecniche, culturali e normative
- Comitati Tecnici attivi su tematiche specifiche
- Attività congiunte con Associazioni, Università ed Enti italiani ed europei, pubblici e privati

- Gruppi di lavoro creati per dare un supporto operativo alle Istituzioni
- Partecipazione alla definizione di regolamenti, leggi, linee guida e collaborazione alla redazione di normativa tecnica con UNI, CEN e CTI, grazie alla Commissione Tecnica e Normativa.

AGGIORNAMENTO E FORMAZIONE: UN MUST

L'aggiornamento tecnologico e normativo è oggi imprescindibile per professionisti e aziende: in quest'ottica AiCARR offre formazione di alto standard teorico e applicativo attraverso AiCARR Formazione, business unit di AiCARR Educational srl, società certificata ISO 9001:2015.

AiCARR Formazione è provider di CNI e CNPI per i crediti formativi professionali e i suoi corsi, condotti da accademici e professionisti selezionati fra i migliori esperti del settore HVAC&R, sono rivolti a progettisti, tecnici, manutentori, personale tecnico e commerciale di Enti e industrie, studenti e ricercatori.

SE LE IDEE CIRCOLANO, ACQUISTANO PIÙ FORZA

AiCARR pubblica gli atti dei convegni, cura l'edizione delle collane dei volumi tecnici, delle guide e dei vademecum, invia la newsletter quindicinale con le notizie sulle novità associative, editoriali, normative, legislative e di formazione; è distributore esclusivo per l'Italia delle pubblicazioni e norme ASHRAE e applica ai Soci condizioni favorevoli per l'acquisto delle norme CEI e sconti sulle pubblicazioni di importanti editori tecnici.

La biblioteca propone un'ampia selezione di titoli tecnico-scientifici in libera consultazione.

Sul sito www.aicarr.org e attraverso la App, scaricabile da Google Play, è anche possibile consultare articoli tecnici e la rassegna news. Inoltre, i Soci ricevono gratuitamente il periodico AiCARR Journal, organo ufficiale dell'Associazione.

Per migliorare l'impronta ambientale del settore edile, la riduzione del consumo di risorse e la minimizzazione degli impatti costituiscono gli obiettivi principali da perseguire nella progettazione e nella costruzione di edifici sostenibili. Tra gli operatori del settore emerge la consapevolezza che la concreta applicazione dei principi dell'economia circolare a un percorso di decarbonizzazione del settore edile necessita di un approccio Life Cycle Thinking, corredato dell'impiego della metodologia Life Cycle Assessment (LCA).

L'applicazione della metodologia LCA al settore delle costruzioni rappresenta un utile strumento per valutare l'eco-profilo di edifici e materiali da costruzione secondo un approccio esaustivo e scientificamente affidabile.

Attualmente il mercato editoriale nazionale offre pochi titoli su queste tematiche; in particolare, non è presente un testo organico sulla LCA applicata all'edificio che includa una estesa e rigorosa trattazione metodologica paragonabile a quella riportata in questo volume.

Il volume, scritto a più mani da alcuni tra i massimi esperti nazionali del settore, affronta in due distinte parti la tematica. I capitoli iniziali trattano le fasi metodologiche della LCA, con riguardo alla definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio, all'analisi di inventario, alla valutazione degli impatti e all'interpretazione dei risultati. Nella seconda parte sono invece illustrati molteplici applicazioni della LCA all'edificio, ai materiali e alle tecnologie impiegati nella realizzazione degli edifici.

MAURIZIO CELLURA Professore Ordinario di Fisica Tecnica Ambientale presso l'Università di Palermo. La sua attività scientifica è orientata verso tematiche di interesse energetico-ambientale, con riferimento in particolare all'efficienza energetica degli edifici, alle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia e alle strategie di decarbonizzazione di sistemi e processi. E' stato membro del Comitato interministeriale Ecolabel Ecoaudit (2000-2004), coordinatore di diversi progetti di ricerca nazionali ed europei e ha partecipato a numerosi gruppi di lavoro dell'International Energy Agency. Dal 2014 è membro del "Sustainable Solutions Development Network" patrocinato dall'UNEP. Da ottobre 2015 è presidente nazionale dell'Associazione Rete Italiana LCA.

È autore di oltre 260 lavori scientifici.

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, è un'associazione culturale no profit. Dal 1960 crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, occupandosi di uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali e di innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio. AiCARR conta oltre 2.600 Soci fra progettisti, costruttori di macchine, installatori, manutentori, accademici, ricercatori, studenti, funzionari di Enti e Agenzie governative e di istituzioni nazionali e internazionali.

La Collana AiCARR propone testi tecnici elaborati da Soci e selezionati dalla Commissione Editoria AiCARR, traduzioni di Linee Guida pubblicate da associazioni internazionali quali REHVA e ASHRAE e le Guide AiCARR realizzate dai Comitati Tecnici dell'Associazione.

AiCARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione – www.aicarr.org

CODICE LCA

www.editorialedelfino.it

ISBN 978-88-97323-65-5



9 788897 323655

Euro 39,00

Questo volume è sprovvisto del taloncino
e da considerare copia SAGGIO - CAMPIONE GRATUITO, fuori commercio
(vendita e altri atti di disposizione vietati: art. 17 c. 2 L. 633/1941).
Esente da IVA (D.P.R. 20/10/1972, n. 633 art. 2, lett. g), art. 4, n. 6).
Esente da bolli di accompagnamento (D.P.R. 6/10/1978, n. 627 art. 4, n. 6).
M. CELLURA
LIFE CYCLE ASSESSMENT
APPLICATA ALL'EDIFICIO
ISBN 978-88-97323-65-5