MANUALE D'AUSILIO ALLA PROGETTAZIONE TERMOTECNICA

Miniguida AICARR

IV EDIZIONE

AiCARR
Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente

60 anni di cultura

MANUALE D'AUSILIO ALLA PROGETTAZIONE TERMOTECNICA

Miniguida AiCARR

IV EDIZIONE

AiCARR
Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente
60 anni di cultura

© 2020 AiCARR

Via Melchiorre Gioia, 168, 20125 Milano
Tel. +39 (02) 67479270 – Fax. +39 (02) 37928719
www.aicarr.org

prima edizione 1998

seconda edizione 2004

terza edizione 2009

quarta edizione 2020

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale, con qualsiasi mezzo (microfilm, copie fotostatiche), sono riservati per tutti i Paesi. Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta con sistemi elettronici, meccanici o altro senza l'autorizzazione scritta di AiCARR.

Prodotto nel mese di dicembre 2020
Prodotto interamente realizzato in Italia
Codice ISBN: 978-88-95620-73-2

AUTORI E REVISORI DELLA MINIGUIDA AiCARR

(quarta edizione 2020)

GENERALITÀ

Prof. Ing. Alberto Cavallini | AUTORE
Professore Emerito – Università di Padova

Prof. Ing. Filippo Busato | REVISORE
Professore Associato di Fisica Tecnica – Università Telematica Mercatorum

UNITÀ DI MISURA – MATEMATICA – GEOMETRIA

Prof. Ing. Alberto Cavallini | AUTORE
Professore Emerito – Università di Padova

Dott. Ing. Adileno Boeche | REVISORE
Libero professionista, Manens-Tifs S.p.A. Ingegneria – Padova

CARICHI TERMICI: Presentazione

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | AUTORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

CARICHI TERMICI

Prof. Ing. Vincenzo Corrado | AUTORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Ambientale – Politecnico di Torino

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | REVISORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

CARICHI TERMICI: Diagnosi energetica

Dott. Ing. Luca A. Piterà | AUTORE
Segretario Tecnico – AiCARR

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | REVISORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

LA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI INTERNI: Presentazione

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | AUTORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

LA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI INTERNI: Il benessere termico

Prof. Ing. Boris Igor Palella | AUTORE
Professore Associato di Fisica Tecnica Ambientale – Università degli Studi di Napoli Federico II

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | REVISORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

LA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI INTERNI: Qualità dell'aria

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | AUTORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

Dott. Ing. Luca A. Piterà | REVISORE
Segretario Tecnico - AiCARR

LA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI INTERNI: Il benessere acustico

Dott. Arch. Antonino Di Bella | AUTORE
Ricercatore di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Padova

Dott. Ing. Giovanni Semprini | AUTORE
Ricercatore di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Bologna

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | REVISORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

LA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI INTERNI: Il benessere visivo

Dott. Ing. Andrea Fornasiero | AUTORE
Libero professionista, Manens-Tifs S.p.A. Ingegneria – Padova

Prof. Ing. Roberto Zecchin | AUTORE
(già) Professore Ordinario di Impianti Termotecnici – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

RETI: Reti aerauliche

Dott. Ing. Ubaldo Nocera | AUTORE
Libero professionista, Studio Nocera – Parma

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | REVISORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

RETI: Reti idrauliche e del vapore

Dott. Ing. Adileno Boeche | AUTORE
Libero professionista, Manens-Tifs S.p.A. Ingegneria – Padova

Prof. Ing. Alberto Cavallini | REVISORE
Professore Emerito – Università di Padova

REFRIGERAZIONE: I fluidi frigorigeni

Prof. Ing. Claudio Zilio | AUTORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

REFRIGERAZIONE: Il dimensionameto delle tubazioni

Prof. Ing. Claudio Zilio | AUTORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

REFRIGERAZIONE: I fluidi secondari

Prof. Ing. Claudio Zilio | AUTORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

REFRIGERAZIONE: Il dimensionamento dei capillari

Prof. Ing. Claudio Zilio | AUTORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

AZIONAMENTI ELETTRICI: Motori e convertitori elettrici

Prof. Ing. Silverio Bolognani | AUTORE
Professore Ordinario di Convertitori, Macchine e Azionamenti Elettrici – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

AZIONAMENTI ELETTRICI: Alimentazioni elettriche

Prof. Ing. Lorenzo Fellin | AUTORE
(già) Professore Ordinario di Sistemi Elettrici per l'Energia – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

ISOLAMENTO DA VIBRAZIONI

Prof. Ing. Alberto Cavallini | AUTORE
Professore Emerito – Università di Padova

Prof. Ing. Carmine Ianniello | REVISORE
(già) Professore Ordinario di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Napoli Federico II

ECONOMIA

Prof. Ing. Filippo Busato | AUTORE
Professore Associato di Fisica Tecnica – Università Telematica Mercatorum

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

NORMATIVA E LEGISLAZIONE

Dott. Ing. Luca A. Piterà | AUTORE
Segretario Tecnico - AiCARR

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | REVISORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

REGOLAZIONE

Prof. Ing. Claudio Zilio | AUTORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

ENERGIE RINNOVABILI: Presentazione

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

ENERGIE RINNOVABILI: Solare termico

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Marco Noro | REVISORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

ENERGIE RINNOVABILI: Fotovoltaico

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Marco Noro | REVISORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

ENERGIE RINNOVABILI: Eolico

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Marco Noro | REVISORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

ENERGIE RINNOVABILI: Biomasse

Prof. Ing. Marco Noro | AUTORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

ENERGIE RINNOVABILI: Energia idraulica

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Marco Noro | REVISORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

POMPE DI CALORE: Presentazione

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

POMPE DI CALORE

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Marco Noro | REVISORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

POMPE DI CALORE: Le sorgenti fredde della pompa di calore

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Marco Noro | REVISORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

SOLAR COOLING

Prof. Ing. Renato Lazzarin | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Marco Noro | REVISORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

COMMISSIONING

Dott. Ing. Luca A. Piterà | AUTORE
Segretario Tecnico - AiCARR

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | REVISORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

NZEB

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | AUTORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

Dott. Ing. Luca A. Piterà | AUTORE
Segretario Tecnico - AiCARR

Dott. Ing. Giorgio Bo | REVISORE
Amministratore Unico e Direttore Tecnico di Prodim srl e EP&S Group Scarl

AUTOMAZIONE E CONTROLLO

Prof. Ing. Marco Filippi | AUTORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Ambientale – Politecnico di Torino

Prof. Ing. Francesca R. d'Ambrosio | REVISORE
Professoressa Ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale – Università di Salerno

COGENERAZIONE

Prof. Ing. Marco Noro | AUTORE
Professore Ordinario di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

Prof. Ing. Renato Lazzarin | REVISORE
Professore Emerito di Fisica Tecnica Industriale – Università di Padova

INDICE GENERALE

Autori e revisori ..... *III*

Presentazioni ..... *XI*

A **GENERALITÀ** **1**

B **UNITÀ DI MISURA** **5**

Ca **MATEMATICA** **29**

Cb **GEOMETRIA** **51**

CARICHI TERMICI

D **Presentazione** **61**

D-1 **Carichi termici** **63**

D-2 **Diagnosi energetica** **111**

LA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI INTERNI

E **Presentazione** **131**

E-1 **Benessere termico** **137**

E-2 **La qualità dell'aria interna** **167**

E-3 **Il benessere acustico** **197**

E-4 **Il benessere visivo** **249**

RETI

F-1 **Reti aerauliche** **319**

F-2 **Reti idrauliche e del vapore** **373**

REFRIGERAZIONE

G-1 **I fluidi frigorigeni** **471**

G-2 **Il dimensionamento delle tubazioni** **515**

G-3 **I fluidi secondari** **529**

G-4 **Il dimensionamento dei tubi capillari** **541**

AZIONAMENTI ELETTRICI

H-1 Motori e convertitori elettrici 553
H-2 Alimentazioni elettriche 589

I ISOLAMENTO DA VIBRAZIONI 631

L ECONOMIA 653

M NORMATIVA E LEGISLAZIONE 679

N REGOLAZIONE 683

ENERGIE RINNOVABILI

O Presentazione 703
O-1 Solare termico 705
O-2 Fotovoltaico 729
O-3 Eolico 743
O-4 Biomasse 765
O-5 Energia idraulica 801

POMPE DI CALORE

P Presentazione 811
P-1 Pompe di calore 813
P-2 Le sorgenti fredde della pompa di calore 823

Q SOLAR COOLING 849

R COMMISSIONING 861

S NZEB 871

T AUTOMAZIONE E CONTROLLO 879

U COGENERAZIONE 905

Presentazione della prima edizione — 1998

Questo primo volume della Miniguida Aicarr nasce anche con intendimento sperimentale: trovare, attraverso l'accoglienza, le reazioni ed i contributi critici costruttivi che susciterà tra gli Associati, la miglior formula per un Manuale d'ausilio alla progettazione impiantistica del benessere ambientale e della refrigerazione che l'Associazione ha messo in cantiere e si propone gradualmente di completare nei prossimi anni.

Non quindi un trattato di progettazione; esistono ormai, anche nella nostra lingua, opere che coprono egregiamente questa esigenza. Piuttosto un compendio, un prontuario dove l'operatore termotecnico possa trovare, con immediatezza, chiarezza e precisione di presentazione, tutti quei dati e quei riferimenti tecnici e normativi aggiornati di cui ha costante bisogno nell'attività quotidiana, e che sono dispersi in un vasto insieme di trattati, pubblicazioni, norme.

La funzione che la Miniguida Aicarr si propone di svolgere ne giustifica chiaramente la struttura: raccoglitore ad anelli con intestazione e numerazione delle pagine per singoli argomenti, in modo da permettere in maniera agevole e soprattutto tempestiva, integrazioni, sostituzioni, aggiornamenti, correzioni, non appena se ne presenti l'opportunità.

Poche professioni richiedono conoscenza di così tante discipline come quella del progettista termotecnico. Accanto alle materie specifiche del mestiere (termodinamica, tecnica del freddo, trasmissione del calore, fluidodinamica), colui che opera nel settore degli impianti per il benessere ambientale e la refrigerazione deve possedere nozioni di impiantistica elettrica, acustica applicata e controllo delle vibrazioni, economia, trattamento delle acque, corrosione, controlli automatici, informatica… e di altro ancora, per finire addirittura con la fisiologia (ed anche psicologia) per ragionare

delle condizioni di benessere.
Argomenti specifici di queste discipline sono stati trattati con diverso approccio dagli autori di questa Miniguida: per quelli specifici della nostra professione, vengono raccolti solo dati, tabulazioni e diagrammi di frequente impiego (è quanto riguarda ad esempio il capitolo sui carichi termici); per gli argomenti più marginali, accanto ai dati progettuali di maggior interesse, ne viene anche riportato lo sviluppo logico in forma succinta (si veda ad esempio il capitolo sugli azionamenti elettrici).
Ringrazio gli Autori di questo primo tomo della Miniguida, che con spirito di servizio verso l'Associazione hanno accettato con entusiasmo il compito di apripista per questa nuova iniziativa dell'Aicarr; fin d'ora azzardo sperare che altri valenti professionisti vorranno affiancarsi per il completamento di quest'opera. Esprimo inoltre gratitudine a tutti coloro, Istituzioni ed individui, che hanno permesso la riproduzione di materiale di loro proprietà.
A tutti i soci Aicarr, ai quali questo volume è destinato in esclusiva (non viene infatti posto in commercio), rivolgo l'invito di fattiva collaborazione attraverso apporti, suggerimenti e critiche costruttive, sperando che vogliano accogliere favorevolmente questo nuovo progetto della loro Associazione.

Alberto Cavallini
Presidente AiCARR

Padova, marzo 1998

Presentazione della seconda edizione — 2004

Dopo più di 5 anni vede la luce la seconda edizione della nostra Miniguida.

Con caparbietà in questo triennio abbiamo incoraggiato e sostenuto la gravosa attività del Prof. Alberto Cavallini — mai sufficientemente ringraziato ideatore e coordinatore della prima edizione — per aver accettato compito di aggiornamento e verifica di questa riedizione.

La seconda edizione, nel confermare la vocazione iniziale di manuale d'ausilio alla progettazione termotecnica sperimentata in questo lustro con successo, si presenta come un supporto tecnico ancora più completo e disponibile a collaborare con i progettisti fornendo informazioni interdisciplinari a spettro sempre più ampio.

Si è provveduto, infatti, non solo ad apportare ai capitoli già pubblicati importanti completamenti e aggiornamenti, ma sono stati anche introdotti nuovi argomenti di sicuro interesse quali: la protezione dal rumore prodotto dagli impianti, i giunti antivibranti e, innovazione assoluta, i principi di illuminotecnica, disciplina così fortemente correlata e influente sulla nostra attività di progettazione.

Visto che la prima edizione ancora oggi, dopo tanti anni dalla sua comparsa, è sui tavoli dei tecnici per un uso corrente, possiamo ritenere con buona ragione che questo volume aggiornato verrà usato dai soci anche con maggior intensità.

Si era allora auspicato di poter aggiornare periodicamente parti del manuale, si è poi capito che il lavoro volontario ha bisogno di arrivare a forti motivazioni, quasi all'inevitabilità, prima di trovare risorse sufficienti per un compito così delicato, di conseguenza la seconda edizione è destinata a sostituire totalmente il primo volume, pur conservando le stesse caratteristiche di flessibilità: l'impaginazione a schede.

Ci si augura, infine, che i soci, a cui questo volume è riservato, accolgano l'invito del 1998, che qui rinnoviamo, di segnalare quanto necessario al continuo periodico miglioramento del manuale.
Tutto il ringraziamento dell'Associazione e mio personale va quindi al già citato curatore della seconda edizione e agli autori dei vari capitoli per la dedizione e il pregevolissimo risultato.

Cesare Taddia
Presidente AiCARR

Milano, dicembre 2004

Presentazione della terza edizione — 2009

A distanza di poco più di 10 anni dalla prima edizione (data marzo 1998)e di 5 anni dalla seconda edizione della Miniguida AiCARR si è posto in maniera non più procrastinabile il problema di una sua riedizione aggiornata.
Questa esigenza è legata sia a nuove normative di riferimento nei settori della tecnica propri di AiCARR che al sorgere di interesse nei confronti di settori fin qui non considerati (esempio più caratteristico le fonti rinnovabili).
La nuova edizione condivide gran parte degli obiettivi della precedente, ad esempio la funzione di prontuario per l'operatore termotecnico con ricchezza di dati e riferimenti tecnici e normativi. Per questa funzione si sono utilizzati i capitoli della precedente edizione adeguatamente aggiornati.
Altre tematiche vengono invece trattate in modo organizzato pur nella sintesi, resa obbligata dalle dimensioni del volumetto che non possono essere quelle di una grande enciclopedia.
Già nella precedente edizione era prevista una trattazione sintetica ma completa di temi come il controllo delle vibrazioni, l'acustica, i controlli automatici, ecc. Nella presente è il caso, ad esempio, delle pompe di calore e delle energie rinnovabili.
Queste ultime tematiche hanno avuto una rapida crescita di interesse negli ultimi anni, rivelato fra l'altro dall'aumento importante di presenze nei moduli della Scuola AiCARR dedicati a questi argomenti.
Forse la più grande differenza rispetto alla precedente Miniguida è la rinuncia al raccoglitore ad anelli che se da un lato presenta il vantaggio di un potenziale aggiornamento di singoli capitoli con sostituzione delle pagine relative dall'altro aumenta il peso del volumetto e, soprattutto, il suo costo, tanto che la valutazione che è stata fatta dimostra che a costi inferiori è possibile fornire a tutti gli

Associati una nuova edizione completa della Miniguida con cadenza quadriennale.
Questo darà modo in futuro di programmare in modo sistematico gli aggiornamenti del volume, tanto più che con l'occasione si sono raccolti i files di tutti i capitoli, non disponibili fin qui che in minima parte, sì che l'intervento periodico di revisione risulterà molto più agevole.
Corre l'obbligo di ringraziare gli Autori, ricordati nelle pagine precedenti con i loro contributi assieme ai Revisori dei singoli capitoli. Sia gli Autori che i Revisori hanno operato con encomiabile spirito volontaristico nell'interesse delle finalità dell'Associazione.
Un ringraziamento particolare va al Comitato di Redazione che si è fatto carico di tutti i problemi di scelta dei temi, degli Autori e Revisori e delle varie problematiche di omogeneizzazione dello stile dei Capitoli e del coordinamento con interventi non sempre facilitati dalla compatibilità del software per quanto riguarda la corretta impaginazione.
Il Comitato di Redazione della Miniguida è composto dal prof. Alberto Cavallini, past President AiCARR e papà della prima edizione, dalla prof. Francesca Romana d'Ambrosio, Ordinario di Fisica Tecnica ambientale nell'Università di Salerno e dell'ing. PhD Filippo Busato, titolare di assegno di ricerca nella Sede di Vicenza dell'Università di Padova.
Non va dimenticato infine il paziente lavoro di Nicoletta Bancale della Segreteria AiCARR nel lavoro organizzativo e di collegamento fra Redazione, Autori e Revisori.
Il volume, fuori commercio, è destinato ai soli Soci AiCARR, dai quali attendo volentieri suggerimenti e critiche costruttive di cui senz'altro tener conto nella prossima edizione programmata fra 4 anni.

Renato Lazzarin
Presidente AiCARR

Padova, ottobre 2009

Presentazione della quarta edizione — 2020

Dopo 22 anni dalla prima edizione della Miniguida AiCARR e dopo 11 dalla terza vede la luce questo nuovo aggiornamento del lavoro. È un'opera trasversale a due presidenze, nata sotto quella di Francesca Romana d'Ambrosio e conclusasi sotto quella di Filippo Busato.

La prima novità è forse proprio formale ed è costituita dal fatto che questa edizione per la prima volta viene pubblicata in solo formato digitale, disponibile sul sito e sulla app dell'Associazione, così da essere più fruibile in un contesto lavorativo in cui avere sempre la disponibilità degli strumenti di lavoro e di conoscenza è diventata imprescindibile. Il formato digitale rende anche possibili gli aggiornamenti da parte della Redazione, per cui la Miniguida sarà sempre al passo con i tempi e non si dovrà più attendere "la prossima edizione". Questa novità consente anche di ridurne l'impatto ambientale dato dalla stampa, dal consumo di carta e dal trasporto.

Accanto alla revisione del formato, i Curatori hanno ritenuto opportuna una revisione critica, per tener conto dell'evoluzione delle conoscenze, della legislazione e della normativa; in questo senso hanno proceduto con una parziale riorganizzazione dei contenuti e della struttura di questo strumento di ausilio alla progettazione termotecnica, da sempre caratterizzato dalla completezza, dal significativo livello di approfondimento e dal rigore scientifico nella trattazione degli argomenti. Seguendo le indicazioni dei singoli Autori, sono stati aggiornati e riorganizzati numerosi capitoli, riscritti integralmente altri, ampliati alcuni; questo livello di flessibilità, nell'economia della produzione di un siffatto volume, è uno dei privilegi dell'edizione digitale.

In questo senso il ringraziamento principale va agli Autori e ai Revisori dei singoli capitoli, singolarmente ricordati nelle prime

pagine del volume, che hanno partecipato con entusiasmo e dedizione, oltre che con encomiabile spirito volontaristico, alla riuscita del lavoro nelle finalità dell'Associazione.
Un ringraziamento particolare va al responsabile scientifico di questa revisione, Renato Lazzarin, ex Presidente AiCARR, e a Luca A. Piterà, che con noi fa parte del Comitato Scientifico.
Grazie anche a Nicoletta Bancale, della segreteria di AiCARR, che ha sapientemente gestito il rapporto con gli Autori.
Un pensiero affettuoso va a Nicola Rossi, autore storico del Capitolo di Aeraulica, e che ci ha recentemente lasciati.
Anche in questo caso il volume è fuori commercio e destinato ai soli soci AiCARR, dai quali attendiamo suggerimenti e critiche costruttive di cui tener conto per le prossime edizioni.

Francesca Romana d'Ambrosio
Ex Presidente AiCARR

Filippo Busato
Presidente AiCARR

Milano, 26 ottobre 2020

A.1. Simboli raccomandati e unità di misura del SI

a	accelerazione	m/s^2
a	profondità	m
A	area	m^2
B	pressione barometrica	Pa
b	larghezza	m
C	conduttanza unitaria	$W/(m^2\ K)$
c	velocità del suono	m/s
c	calore specifico (capacità termica massica)	J/(kg K)
c_p	calore specifico a pressione costante	J/(kg K)
c_v	calore specifico a volume costante	J/(kg K)
D, d	diametro	m
D_e, d_e	diametro equivalente o diametro idraulico	m
E	energia	J
e	energia specifica	J/kg
e	efficienza di scambio termico	-
e	base dei logaritmi naturale	-
EX	exergia	J
ex	exergia specifica	J/kg
F	forza	N
f	fattore di sporcamento	$(m^2\ K)/W$
f	frequenza	Hz
f_F	fattore di attrito (di Fanning)	-
g	peso	N
g	accelerazione di gravità	m/s^2
H	potere calorifico di un combustibile	J/kg o J/m^3
H	entalpia	J
h	entalpia specifica	J/kg
h_c	coefficiente di convezione	$W/(m^2\ K)$
h_e, α_e	adduttanza unitaria esterna o conduttanza unitaria superficiale esterna o coefficiente di scambio termico superficiale esterno	$W/(m^2K)$
h_i, α_i	adduttanza unitaria interna o conduttanza unitaria superficiale interna o coefficiente di scambio termico superficiale interno	$W/(m^2K)$
h_r	conduttanza superficiale unitaria radiativa	$W/(m^2K)$
I	intensità di corrente elettrica	A
K, U	trasmittanza unitaria o coefficiente globale di trasmissione termica	$W/(m^2\ K)$
k, γ	rapporto di calori specifici	-
L, W	lavoro	J
l, L	lunghezza	m
L_p	livello di pressione sonora	dB
L_w	livello di potenza sonora	dB

m, M	massa	kg
$\dot{m}, q_m$	portata di massa (o portata massica)	kg/s
n	esponente della politropica	-
n	velocità di rotazione	s^{-1}
n	ricambi d'aria nell'unità di tempo	s^{-1}, h^{-1}
N, ω	velocità angolare	rad/s
P	potenza	W
p	pressione	Pa
Δp	differenza di pressione	Pa
P_E	potenza elettrica assorbita dai motori, ecc.	W
Q	quantità di calore	J
Q	quantità di calore massica (o specifica)	J/kg
q, Φ	flusso termico, potenza termica	W
R	costante dei gas	J/(kg K)
R	resistenza elettrica	Ω
R	resistenza termica unitaria	$(m^2\ K)/W$
r	calore di vaporizzazione	J/K
r	resistenza termica specifica	K/W
r	raggio	m
S	entropia	J/K
s	entropia specifica	J/(kg K)
s, d	spessore	m
T	tempo	s
t, θ	temperatura (scala relativa)	°C
T, Θ	temperatura assoluta	K
Δt, $\Delta\theta$	differenza di temperatura	K, °C
U	energia interna	J
u	energia interna specifica	J/kg
V	Volume	m^3
v	volume specifico	m^3/kg
V, E	tensione, f.e.m.	V
$\dot{V}, Q, q_v$	portata volumetrica	m^3/s, L/s
w	velocità	m/s
z	altezza	m
x	titolo del vapore	-
x	umidità specifica dell'aria	kg/kg, g/kg
x, y, z	coordinate spaziali	m
α (alfa)	coefficiente di dilatazione lineare	K^{-1}
α (alfa)	adduttanza unitaria o conduttanza unitaria superficiale o coefficiente di scambio termico superficiale	$W/(m^2\ K)$
α (alfa)	coefficiente di assorbimento della radiazione	-
α (alfa)	accelerazione angolare	rad/s^2
β (beta)	coefficiente isobaro di espansione termica	K^{-1}
β (beta)	angolo piano	rad

γ (gamma)	coefficiente di dilatazione cubica	K^{-1}
γ (gamma)	angolo piano	rad
Δ, δ (delta)	differenza fra valori	-
ε (epsilon)	coefficiente di effetto frigorifero	-
ε (epsilon)	emissività di una superficie o emittenza di una superficie	-
ε (epsilon)	coefficiente di eccesso di aria	-
η (eta)	rendimento	-
θ (teta)	tempo	s
θ, Θ (teta)	temperatura	°C, K
λ (lambda)	lunghezza d'onda	m, nm
λ (lambda)	conduttività termica o conducibilità termica	W/(m K)
μ (mu)	viscosità dinamica	Pa s
ν (nu)	viscosità cinematica	m^2/s
ρ (ro)	massa volumica o densità	kg/m^3
ρ (ro)	resistività elettrica	Ω m
σ (sigma)	costante di Stefan-Boltzmann	$W/(m^2 K^4)$
σ (sigma)	tensione superficiale	N/m
τ (tau)	tempo, costante di tempo	s
φ (fi)	umidità relativa	-
φ (fi)	flusso termico specifico (per unità di superficie	W/m^2
ψ (psi)	grado di saturazione	-
Ψ (psi)	trasmittanza termica lineica (cfr. norma 14683)	W/(m K)
ω, Ω (omega)	angolo solido	sr
ω (omega)	pulsazione	rad/s

A.2. Segni e simboli matematici normalizzati

n.	simbolo	applicazione	significato
1	$\pm$	$a \pm b$	*a* più o meno *b*
2	$\approx$	$a \approx b$	*a* è approssimativamente uguale a *b*
3	$\sim$	$a \sim b$	*a* è proporzionale a *b*
4	$\simeq$	$a \simeq b$	*a* è asintoticamente uguale a *b*
5	$\hat{=}$	$a \hat{=} b$	*a* corrisponde a *b*
6	$\rightarrow$	$a \rightarrow b$	*a* tende a *b*
7	$\Rightarrow$	$a \Rightarrow b$	*a* implica *b*
8	$\Leftrightarrow$	$a \Leftrightarrow b$	*a* è equivalente a *b*
9	$\in$	$x \in A$	*x* è un elemento dell'insieme *A*
10	$\notin$	$x \notin A$	*x* non è un elemento dell'insieme *A*
11	$\subset$	$B \subset A$	*B* è incluso in *A*
12	$\cup$	$B \cup A$	unione di *B* ed *A*
13	$\cap$	$B \cap A$	intersezione di *B* ed *A*

14	$\wedge$	$p \wedge q$	prodotto logico di p e q (**and**)
15	$\vee$	$p \vee q$	somma logica di p e q (**or**)
16	$\neg$	$\neg p$	negazione di p
17	$\forall$	$\forall x \in A \;\; p(x)$	per ogni x di A è vera la $p(x)$
18	$\exists$	$\exists x \in A \; p(x)$	esiste x di A per cui è vera la $p(x)$
19	ln, $\log_e$	$\ln x$	logaritmo naturale di x
20	lg, $\log_{10}$	$\lg x$	logaritmo decimale di x
21	lb, $\log_2$	$\mathrm{lb}\, x$	logaritmo binario di x
22	$\cdot$	$\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}$ $\left(\vec{a}\cdot\vec{b}\right)$	prodotto scalare dei vettori **a** e **b**
23	$\times$	$\mathbf{a}\times\mathbf{b}$, $\left(\vec{a}\times\vec{b}\right)$	prodotto vettoriale dei vettori **a** e **b**

Da: EN-ISO 80000-2: 2019 Quantities and units - Part 2 Mathematics.

A.3. Costanti fisiche fondamentali (Codata 2018)

Velocità della luce nel vuoto	c	= **299 792 458** m s^{-1}
Costante newtoniana di gravitazione	G	= 6,674 30(15) 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}
Carica elementare	e	= **1,602 176 634 10^{-19}** C
Unita di massa atomica (unificata)	u	= $m(^{12}\mathrm{C})/12$ = 1,660 539 066 60(50) 10^{-27} kg
Massa dell'elettrone	m_e	= 9,109 383 7015(28) 10^{-31} kg
		5,485 799 090 65(16) 10^{-4} u
Massa del protone	m_p	= 1,672 621 923 69(51) 10^{-27} kg
		1,007 276 466 621(53) u
Rapporto tra le masse del protone e dell'elettrone	m_p/m_e	= 1836,152 673 43(11)
Massa del neutrone	m_n	= 1,674 927 498 04(95) 10^{-27} kg
		1,008 664 915 95(49) u
Costante di Avogadro	N_A	= **6,022 140 76 10^{23}** mol^{-1}
Costante di Faraday (= $N_A \cdot e$)	F	= **96 485,332 12 …** C mo1^{-1}
Costante universale dei gas ideali	R	= **8,314 462 618 …** J mol^{-1} K^{-1}
Volume molare R T/p (T = 273,15 K, p = 101325 Pa)	V_{in}	= **0,022 413 969 54 …** m^3 mol^{-1}
Costante di Boltzmann (= R/N_A)	k	= **1,380 649 10^{-23}** J K^{-1}
Costante di Plank	h	= **6,626 070 15 10^{-34}** J s
Costante di Stefan-Boltzmann	σ	= **5,670 374 419 … 10^{-8}** W m^{-2} K^{-4}
Prima costante della radiazione	c_1	= $2\pi hc^2$ = **3,741 771 852 … 10^{-16}** W m^2 sr^{-1}
Seconda costante della radiazione	c_2	= hc/k = **0,014 387 768 77 …** m K
Costante di spostamento di Wien	b	= $\lambda_{max}T$ = **2,897 771 955 … 10^{-3}** m K

Il numero tra parentesi è il valore numerico dell'incertezza standard del valore stimato della grandezza in considerazione, riferito alle ultime cifre significative riportate.
I valori esatti sono riportati in carattere **grassetto.**

B.1. Il Sistema Internazionale di unità di misura (SI)

B.1.0. Premessa

Il 2019 è l'anno che ha visto il compimento di una strada da lungo intrapresa nella definizione del Sistema Internazionale di Unità di Misura (SI). Il 20 maggio 2019 sono infatti entrate in vigore le decisioni assunte, a proposito della definizione del SI, nel corso della 26ª riunione del CGPM (Conférence générale des poids et mesures – Conferenza generale dei pesi e misure) tenuta a Versailles dal 13 al 16 novembre 2018. In quella sede è stato deciso che il SI venga basato sul valore numerico fissato di un insieme di sette costanti di definizione, dal valore delle quali si possono ricavare le definizioni delle usuali sette unità base del SI. Sparisce quindi ogni riferimento a 'prototipi campione' per la definizione delle unità di misura, quali il campione dell'unità di massa, il kilogrammo, in vigore sino a quest'ultima decisione, o il campione dell'unità di misura della lunghezza, il metro, riferimento già abolito dal 1960.

Il SI è ora il sistema di misura nel quale:

- la frequenza di transizione iperfine dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133 non perturbato, $\Delta\nu_{Cs}$, è uguale a 9 192 631 770 Hz,
- la velocità della luce nel vuoto, c, è uguale a 299 792 458 m s^{-1},
- la costante di Plank, h, è uguale a 6,626 070 15 × 10^{-14} J s,
- la carica elementare, e, è uguale a 1,602 176 634 × 10^{-19} C,
- la costante di Boltzmann, k, è uguale a 1,380 649 × 10^{-23} J K^{-1},
- la costante di Avogadro, N_A, è uguale a 6,022 140 76 × 10^{23} mol^{-1},
- l'efficienza luminosa della radiazione monocromatica di frequenza 540 × 10^{12} Hz, K_{cd}, è uguale a 683 lm/W,

dove hertz, joule, coulomb, lumen e watt, con simboli unitari Hz, J, C, lm e W rispettivamente, sono correlati alle unità secondo, metro, kilogrammo, ampere, kelvin, mole e candela, con simboli unitari s, m, kg, A, K, mol e cd rispettivamente, secondo le relazioni Hz = s^{-1}, J = kg m^2 s^{-2}, C = A s, lm = cd m^2 m^{-2} = cd sr, e W = kg m^2 s^{-3}.

Antecedentemente a quanto deciso nel 2018, il SI era definito con *sette unità di base (fondamentali)*, dalle quali venivano costruite le *unità derivate* come prodotti di potenze delle *unità di base*. Definendo il SI imponendo il valore numerico di sette costanti di definizione ha come effetto che la distinzione tra unità di base e derivate non è più strettamente necessaria, in quanto tutte le unità, di base e derivate, possono essere direttamente costruite dalle costanti di definizione. Cionondimeno il concetto di unità fondamentali (di base) e derivate viene conservato, in ragione della sua utilità e per continuità storica. Naturalmente le nuove unità di misura sono assolutamente coerenti con quelle fino ad allora in uso.

La definizione delle unità fondamentali, che derivano dalla nuova definizione del SI in termini delle sette costanti di definizione, è riportata qui nel seguito.

B.1.1. Unità di misura di base (fondamentali)

secondo, *simbolo* s

Unità di misura del tempo.
È definito fissando il valore numerico della frequenza del cesio $\Delta\nu_{Cs}$, la frequenza di transizione iperfine dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133 non perturbato, uguale a 9 192 631 770 quando espressa nell'unità Hz, che è uguale a s^{-1}.

metro, *simbolo* m

Unità di misura della lunghezza.
È definito fissando il valore numerico della velocità della luce nel vuoto c uguale a 299 792 458 quando espressa nell'unità m s^{-1}, dove il secondo è definito in termini della frequenza del cesio $\Delta\nu_{Cs}$.

kilogrammo, *simbolo* kg

Unità di misura della massa.
È definito fissando il valore numerico della costante di Plank h uguale a $6{,}626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ quando espressa nell'unità J s, che è uguale a kg m^2 s^{-1}, dove il metro ed il secondo sono definiti in termini di c e $\Delta\nu_{Cs}$.

ampere, *simbolo* A

Unità di misura dell'intensità di corrente elettrica.
È definito fissando il valore numerico della carica elementare e uguale a $1{,}602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ quando espressa in A s, dove il secondo è definito in termini di $\Delta\nu_{Cs}$.

kelvin, *simbolo* K

Unità di misura della temperatura termodinamica.
È definito fissando il valore numerico della costante di Boltzmann k uguale a $1{,}380\ 649 \times 10^{-23}$ quando espressa nell'unità J K^{-1}, che è uguale a kg m^2 s^{-2} K^{-1}, dove il kilogrammo, il metro ed il secondo sono definiti in termini di h, c, e $\Delta\nu_{Cs}$.

mole, *simbolo* mol

Unità di misura di quantità di sostanza.
Una mole contiene esattamente 6,022 140 76 $\times 10^{23}$ entità elementari. Questo numero è il valore numerico fissato per la costante di Avogadro, N_A, quando espressa nell'unità mol^{-1} ed è chiamata il numero di Avogadro.
La quantità di sostanza, simbolo n, di un sistema è una misura del numero di specificate entità elementari. Un'entità elementare può essere un atomo, una molecola, uno ione, un elettrone, o altra particella o gruppo di particelle.

candela, *simbolo* cd

Unità di misura dell'intensità luminosa in una data direzione.
È definita fissando il valore numerico dell'efficienza luminosa della radiazione monocromatica di frequenza 540×10^{12} Hz, K_{cd}, uguale a 683 quando espressa nell'unità $lm\ W^{-1}$, che è uguale a $cd\ sr\ W^{-1}$, oppure $cd\ sr\ kg^{-1}\ m^{-2}\ s^3$, dove il kilogrammo, il metro ed il secondo sono definiti in termini di h, c, e $\Delta\nu_{Cs}$

B.1.2. Unità di misura derivate adimensionali con nome e simbolo proprio, il cui impiego è raccomandato per maggior chiarezza di interpretazione (un tempo denominate unità supplementari)

radiante, *simbolo* rad	*Unità di misura dell'ampiezza di angoli piani.* Angolo piano tra due raggi di un cerchio che intercettano sulla circonferenza un arco di lunghezza uguale al raggio.
steradiante, *simbolo* sr	*Unità di misura dell'ampiezza di angoli solidi.* Angolo solido che, avendo il vertice al centro di una sfera, intercetta un'area sulla superficie della sfera uguale a quella di un quadrato col lato di lunghezza pari al raggio della sfera.

B.1.3. Unità di misura derivate con nome e simbolo propri

Tabella B.1 - Unità di misura derivate con nome e simboli propri.

nome	simbolo	grandezza	equivalenza
radiante	rad	*angolo piano*	$m \cdot m^{-1} = 1$
steradiante	sr	*angolo solido*	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
hertz	Hz	*frequenza*	s^{-1}
newton	N	*forza*	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
pascal	Pa	*pressione, sforzo*	$N/m^2 \leftrightarrow kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
joule	J	*energia, lavoro*	$N \cdot m \leftrightarrow kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
watt	W	*potenza, flusso termico*	$J/s \leftrightarrow kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
coulomb	C	*carica elettrica*	$A \cdot s$
volt	V	*potenziale elettrico*	$W/A \leftrightarrow m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
farad	F	*capacità elettrica*	$C/V \leftrightarrow kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^4 \cdot A^2$
ohm	Ω	*resistenza elettrica*	$V/A \leftrightarrow kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
siemens	S	*conduttanza elettrica*	$A/V \leftrightarrow kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$
weber	Wb	*flusso magnetico*	$V \cdot s \leftrightarrow kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
tesla	T	*densità di flusso magnetico*	$Wb/m^2 \leftrightarrow kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
henry	H	*induttanza*	$Wb/A \leftrightarrow m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
grado Celsius	°C	*temperatura Celsius*	K
lumen	lm	*flusso luminoso*	$cd \cdot sr$
lux	lx	*illuminamento*	$lm/m^2 \leftrightarrow cd \cdot sr \cdot m^{-2}$
becquerel	Bq	*attività di radionuclide*	s^{-1}
gray	Gy	*dose assorbita*	$J/kg \leftrightarrow m^2 \cdot s^{-2}$
sievert	Sv	*dose equivalente*	$J/kg \leftrightarrow m^2 \cdot s^{-2}$
katal	kat	*attività catalitica*	$mol \cdot s^{-1}$

B.1.4. Multipli e sottomultipli decimali di unità SI. Prefissi SI

Tabella B.2 - Multipli e sottomultipli decimali di unità SI. Prefissi SI.

fattore	prefisso	simbolo
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	zetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	kilo	k
10^{2}	etta	h
10^{1}	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yocto	y

B.1.5. Unità di misura accettate nell'uso col SI

Tabella B.3 - Unità di misura accettate nell'uso col SI.

nome	simbolo	grandezza	valore in unità SI
minuto	min	*tempo*	1 min = **60** s
ora	h	*tempo*	1 h = **60** min = **3600** s
giorno	d	*tempo*	1 d = **24** h = **86 400** s
grado d'angolo	°	*angolo piano*	1° = (**π/180**) rad
minuto d'angolo	'	*angolo piano*	1' = (**1/60**)° = (**π/10 800**) rad
secondo d'angolo	"	*angolo piano*	1" = (**1/60**)' = (**π/648 000**) rad
ettaro	ha	*area*	1 ha = **1** hm^2 = $\mathbf{10^4}$ m^2
litro	l oppure L	*volume*	1 L = **1** dm^3 = $\mathbf{10^{-3}}$ m^3
tonnellata (metrica)	t	*massa*	1 t = **1000** kg
dalton (unità di massa atomica unificata)	Da (u)	*massa*	1 Da = 1,660 539 040(20) 10^{-27} kg (1/12 della massa dell'atomo ^{12}C) 1 u = **1** Da
elettronvolt	eV	*energia*	1 eV = **1,602 176 634** $\mathbf{10^{-19}}$ J

B.1.6. Unità di misura non più tollerate nell'uso col SI

Tabella B.4 - Unità di misura non più tollerate nell'uso col SI.

nome	simbolo	grandezza	valore in unità SI
miglio nautico	(n mi)	*lunghezza*	1 (n mi) = **1852** m
nodo	kn	*velocità*	1 kn = **1** (n mi) h^{-1} = 0,514 444 4 m s^{-1}
ångström	Å	*lunghezza*	1 Å = **0,1** nm = $\mathbf{10^{-10}}$ m
ara	a	*area (sup. agrarie)*	1 a = **1** dam^2 = $\mathbf{10^2}$ m^2
ettaro	ha	*area (sup. agrarie)*	1 ha = **1** hm^2 = $\mathbf{10^4}$ m^2
barn[1]	b	*area*	1 b = **100** fm^2 = $\mathbf{10^{-28}}$ m^2
Bar	bar	*pressione*	1 bar = **100** kPa = $\mathbf{10^5}$ Pa
Gal	Gal	*accelerazione*	1 Gal = **1** cm s^{-2} = $\mathbf{10^{-2}}$ m s^{-2}
curie	Ci	*attività radionuclide*	1 Ci = **3,7** $\mathbf{10^{10}}$ Bq
roentgen	R	*carica per unità di massa*	1 R = 2,58 10^{-4} C kg^{-1}
Rad	rd[2]	*dose assorbita*	1 rd = 1 cGy = 10^{-2} Gy
rem	rem	*dose equivalente*	1 rem = 1 cSv = 10^{-2} Sv

Note:
[1]*unità di misura della sezione d'urto fra particelle elementari*
[2]*Anche* rad, *se non sussiste rischio di confusione con il* radiante.

B.2. Alcune regole per il corretto impiego delle unità di misura

- I nomi delle unità, anche per quelle derivate da nomi propri, sono considerati normali sostantivi della lingua italiana e perciò sono scritti in carattere minuscolo e privi di accenti, a meno che le normali regole di punteggiatura non richiedano l'iniziale maiuscola (come ad inizio frase), si deve usare il carattere tondo (non corsivo); si scriverà così: kelvin, ampere...
- I simboli delle unità devono essere scritti con l'iniziale maiuscola quando derivati da nomi propri (esempio W, A, N, Wb...); con l'iniziale minuscola gli altri (esempio: m, g, s, lm...); fa eccezione il simbolo dell'unità di misura litro, che si può anche indicare L, per evitare confusione nei testi a stampa. I simboli sono invariabili al plurale, e non sono seguiti dal punto (a meno che questo non derivi dalla punteggiatura della frase). Indipendentemente dal tipo di carattere utilizzato nel testo, i simboli delle unità di misura devono essere scritti in carattere tondo (cioè non corsivo), e dopo il relativo valore numerico (si scriverà cioè 3 kg, e NON kg 3).
- L'unità di misura, quando non accompagna il valore numerico (in cifre) della grandezza cui si riferisce, deve essere sempre scritta col proprio nome per esteso, e mai in simbolo (così NON si potrà scrivere: *nel sistema SI la temperatura termodinamica si esprime in* K, ma si dovrà piuttosto scrivere: *nel sistema SI la temperatura termodinamica si esprime in* kelvin). Si scriverà: *è venduto a* kilogrammo, e NON: *è venduto a* kg. Qualche ovvia eccezione è naturalmente ammessa; si potrà così scrivere: *Il simbolo dell'unità di misura newton è* N.
- Tra il valore numerico ed il simbolo della relativa unità di misura va sempre interposto uno spazio bianco. Fanno eccezione i simboli del grado sessagesimale °, primo ' e secondo " d'angolo. Si scriverà così: 45 km, 25 A, 134 A/m^2, 609 °C, 64°32'44".
- Per le unità composte da due o più altre, nella scrittura dei simboli non si devono usare trattini separatori, ma esclusivamente e obbligatoriamente uno spazio bianco od un punto moltiplicatore a mezza altezza. Nelle divisioni si potrà usare anche la barra o linea di frazione oltre all'esponente negativo; l'uso della barra di frazione non dovrà prestarsi ad equivoci di interpretazione. Si potrà così scrivere: 134 A/m^2, oppure 134 A m^{-2}, oppure 134 A·m^{-2}; ed inoltre: 1 W m^{-2} K^{-1} = 1 W/(m^2 K), MA NON SI POTRA' SCRIVERE 1 W/m^2/K o tanto meno 1 W/m^2 K. Si scriverà 13 kgf m, oppure 13 kgf·m e NON 13 kgfm.
- Quando si scrive il nome di un'unità di misura contenente un prefisso, non si devono usare spazi o linette separatrici tra l'unità ed il prefisso (esempio: microampere, e NON micro ampere, oppure micro-ampere). Il nome di un'unità di misura derivata, ottenuta per moltiplicazione di due unità di misura, si scrive lasciando uno spazio tra i due nomi delle unità

componenti, od interponendo tra i due nomi una lineetta (pascal secondo, oppure pascal-secondo; NON pascal · secondo). Il nome di un'unità di misura derivata, ottenuta per divisione di due unità di misura, si scrive interponendo tra i due nomi la parola "per" (ampere per metro, NON ampere/metro). Si scriverà inoltre: ampere per metro (al) quadrato, kilogrammi per metro cubo, e così via.

- Il simbolo di prefisso per formare multipli o sottomultipli di unità di misura, si scrive attaccato al simbolo dell'unità di misura, e forma un nuovo simbolo inseparabile (multiplo o sottomultiplo dell'unità in questione), che può essere elevato a potenza positiva o negativa, o combinato con altri simboli di unità per formare simboli di unità composte.
  Esempi: $6{,}4\ \mathrm{cm}^3 = 6{,}4\ (\mathrm{cm})^3 = 6{,}4\ (10^{-2}\mathrm{m})^3 = 6{,}4\ 10^{-6}\ \mathrm{m}^3$
  $3\ \mathrm{V/mm} = 3\ \mathrm{V}/(10^{-3}\mathrm{m}) = 3\ 10^3\ \mathrm{V/m}$
- Non si possono usare contemporaneamente due o più prefissi a modifica del simbolo di una unità. Esempio: nm (nanometro), MA NON mμm (millimicrometro). Per questa ragione, per l'unità SI di massa, i prefissi si applicano al simbolo dell'unità grammo, e non a quello dell'unità kilogrammo. I prefissi per formare multipli e sottomultipli non possono essere usati con l'unità di misura adimensionale (1).
- I simboli delle unità di misura sono trattati come entità matematiche. Nell'esprimere il valore di una quantità come prodotto di un valore numerico e una unità di misura, entrambi il valore numerico e l'unità possono essere trattate con le usuali regole dell'algebra. Per esempio, l'equazione $p = 48$ kPa può ugualmente essere scritta $p/\mathrm{kPa} = 48$. Questa annotazione (quoziente tra una quantità e la sua unità di misura) può essere comoda da usare per l'intestazione di righe e/o colonne di tabelle, oppure per l'etichettatura di grafici.
- Il SI richiede esplicitamente che quando si indica la moltiplicazione tra numeri si possa usare solo il simbolo moltiplicativo ×, e non il punto a mezza altezza ·. Si dovrà quindi scrivere 65,2×37, e NON 65,2·37.

B.3. Fattori di conversione tra unità di misura

Come utilizzare i fattori di conversione riportati nelle tabelle

Per convertire l'unità di misura nel senso concorde a quello della freccia (►► → ►►), ***moltiplicare*** *per il fattore di conversione di tabella.*
Per convertire l'unità di misura nel senso opposto a quello della freccia (◄◄ → ◄◄), ***dividere*** *per il fattore di conversione di tabella.*

Esempio: 13,70 ft/s^2 = 13,70·**30,48** = 417,6 Gal
341 Gal = 341/**30,48** = 11,2 ft/s^2

I fattori di conversione esatti sono riportati in **carattere grassetto**.

Tabella B.5 - Fattori di conversione per accelerazione.

accelerazione					**dimensione SI: L^1 T^{-2}** **unità di misura coerente SI: m s^{-2}**
conversione nell'unità SI		**conversione tra altre unità di misura**			
ft/s^2 → m/s^2	**0,3048**	ft/s^2 → Gal	**30,48**	Gal → in/s^2	0,3937008
Gal → m/s^2	**0,01**	ft/s^2 → in/s^2	**12**		
in/s^2 → m/s^2	**0,0254**				

Note:
Accelerazione di gravità standard g_n = **9,80665** m/s^2.

Tabella B.6 - Fattori di conversione per angolo piano.

angolo piano					**dimensione SI: 1 (adimensionale)** **unità di misura coerente SI: (radiante) rad**
conversione nell'unità SI		**conversione tra altre unità di misura**			
° → rad	0,01745329	° → ’	**60**	r → gon	**400**
’ → rad	0,0002908882	° → ”	**3600**	r → °	**360**
” → rad	4,848137 10^{-6}	gon → °	**0,9**	r → ’	**21600**
gon → rad	0,01570796	gon → ’	**54**	r → ”	**1296000**
r → rad	6,283185	gon → ”	**3240**		

Note:
°: grado sessagesimale d’angolo;
’: minuto d’angolo;
”: secondo d’angolo;
gon: grado centesimale d'angolo;
r: giro (angolo giro).

Tabella B.7 - Fattori di conversione per area.

area				**dimensione SI: L^2** **unità di misura coerente SI: m^2**	
conversione nell'unità SI		**conversione tra altre unità di misura**			
ac → m^2	4046,873	ft^2 → cm^2	**929,0304**	yd^2 → ft^2	**9**
ara → m^2	**100**	ft^2 → in^2	**144**	yd^2 → in^2	**1296**
b → m^2	**$1\ 10^{-28}$**	ha → ara	**100**		
circular mil → m^2	$5{,}067075\ 10^{-10}$	ha → ac	2,471044		
		ha → yd^2	11959,90		
ft^2 → m^2	**0,09290304**	in^2 → cm^2	**6,4516**		
ha → m^2	**10000**	in^2 → mm^2	**645,16**		
in^2 → m^2	**0,00064516**	mi^2 → km^2	2,589988		
mi^2 → m^2	2589988	mi^2 → yd^2	**3097600**		
yd^2 → m^2	**0,83612736**	yd^2 → dm^2	**83,612736**		

Note:
ac: acro *(U.S.A. – basato sul* survey foot*);*
b: barn *(unità di misura per esprimere le sezioni d'urto nelle irradiazioni nucleari);*
ha: ettaro*;*
mi: miglio terrestre internazionale.

Tabella B.8 - Fattori di conversione per calore specifico, entropia specifica.

calore specifico **entropia specifica**				**dimensione SI: $L^2\ T^{-2}\ \theta^{-1}$** **unità di misura coerente SI: $J/(kg\ K) \equiv m^2/(s^2\ K)$**	
conversione nell'unità SI				**conversione tra altre unità di misura**	
Btu/(lb °R) → J/(kg K)	**4186,8**	cal/(g K) → J/(kg K)	**4186,8**	Btu/(lb °R) → cal/(g K)	**1,0**
Btu/(slug °R) → J/(kg K)	130,1298	kcal/(kg K) → J/(kg K)	**4186,8**	Btu/(lb °R) → kcal/(kg K)	**1,0**

Note:
Le unità cal, kcal *e* Btu, *sono qui, come nel resto di questo testo, i valori* IT, *cioè quelli definiti nelle International Tables (5ª Conferenza Internazionale sulle Proprietà del Vapore - Londra 1956). Queste unità sono spesso anche indicate* cal_{IT}, $kcal_{IT}$ *e* Btu_{IT}.
Per quanto riguarda il calore specifico, trattandosi di differenza di temperatura, al denominatore delle unità di misura il kelvin *è equivalente al* grado Celsius, *cosiccome il* grado Fahrenheit *è equivalente al* grado Rankine.
J/(kg °C) ≡ J/(kg K); Btu/(lb °F) ≡ Btu/(lb °R), Btu/(slug °F) ≡ Btu/(slug °R),
cal/(g °C) ≡ cal/(g K).
Il discorso non vale invece per l'entropia specifica, per la quale al denominatore vi è il valore della temperatura espressa in una scala assoluta.

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.

AiCARR Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente
60 anni di cultura
AiCARR - Via Melchiorre Gioia 168 - 20125 Milano - Italia
Tel. 02 67479270 - Fax 02 37928719 - info@aicarr.org - www.aicarr.org