

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

MASTER COPY

Tel. 388/9837745

1. Conversione dell'Energia e Macchine a Fluido

Roberto Lensi

DIPARTIMENTO DI ENERGETICA

Anno Accademico 2010-2011

GENERALITÀ

Per trattare in maniera appropriata argomenti aventi carattere tecnico-scientifico devono essere effettuate scelte opportune in materia di:

- *unità di misura;*
- *nomenclatura;*
- *simbologia.*

MASTER COPY

Tel. 388/9837745

Unità di misura

Il Sistema Internazionale delle unità di misura (SI) è stato approvato nel 1960, quindi confermato e precisato nel 1967, dalla Conferenza Generale dei Pesi e Misure (CGPM).
Esso è stato reso obbligatorio, per legge, in Italia nel 1982.
Tuttavia, specialmente in alcuni settori della tecnica, non è semplice riuscire ad abbandonare unità di misura profondamente radicate nella tradizione, alle quali sono legate le individuali conoscenze dei valori numerici delle grandezze fisiche d'uso comune e delle taglie di apparecchiature e installazioni.
È quindi necessario che tecnici, professionisti e ricercatori siano in grado di districarsi il più possibile agevolmente tra molteplici unità di misura, legali o meno, talvolta adoperate in relazione ad una stessa grandezza fisica.

Nomenclatura

Maggiore attenzione rispetto al passato è oggi riservata anche alla nomenclatura delle grandezze fisiche. In particolare, la denominazione di molte grandezze è meglio precisata sostituendo al troppo generico termine "specifico" quello più esplicativo di "massico", "molare", "ponderale", "volumico", "areico", "lineico", a seconda che si tratti di grandezza riferita alla massa, alla mole (quantità di sostanza), al peso, al volume, alla superficie, alla lunghezza.
Così, ad esempio:

- la "massa specifica" diventa "massa volumica" o "massa molare", a seconda che sia fatto riferimento all'unità di volume o di quantità di sostanza (mole);
- il "peso specifico" diventa "peso volumico" o "peso molare", a seconda che sia fatto riferimento all'unità di volume o di quantità di sostanza (mole);
- il "volume specifico" diventa "volume massico", "volume molare" o "volume ponderale", a seconda che sia fatto riferimento all'unità di massa, di quantità di sostanza (mole) o di peso
- il "calore specifico" diventa "calore massico", "calore molare" o "calore volumico" (o meglio "capacità termica massica", "capacità termica molare" o "capacità termica volumica"), a seconda che sia fatto riferimento all'unità di massa, di quantità di sostanza (mole), o di volume.

Inoltre, il termine "densità" dovrebbe essere usato unicamente per indicare il rapporto (adimensionale) tra la massa volumica di un corpo e quella di un corpo di riferimento, e non il rapporto tra la massa di un corpo ed il suo volume che è invece denominato "massa volumica", come ricordato sopra.

Simbologia

I simboli da impiegare sono quelli più usuali nelle trattazioni tecnico-scientifiche, in ottemperanza alle norme raccomandate, italiane o internazionali.
Per quanto riguarda i numeri adimensionali di Prandtl, di Grashoff, di Nusselt, di Mach, di Reynolds, di Stokes, ecc., è consigliato l'impiego del simbolo N con un pedice di una o più lettere identificanti il nome dell'autore della cifra adimensionale (N_{Pr} N_{Gr} N_{Nu} N_M N_{Re} N_{Sto} ecc.).
Per quanto riguarda il "normal metrocubo", inoltre, l'indicazione m_n^3 è quella che dovrebbe essere usata.
La molteplicità di discipline coinvolte negli argomenti da trattare ed il conseguente gran numero di grandezze fisiche interessate, rende praticamente impossibile dedicare un simbolo diverso ad ogni grandezza fisica che è necessario prendere in considerazione.

SIMBOLOGIA

CONVENZIONI

Sono utilizzate le seguenti convenzioni:

1) salva diversa esplicita indicazione, per quanto riguarda i simboli di grandezze fisiche estensive, le lettere minuscole rappresentano le stesse grandezze indicate dalle corrispondenti lettere maiuscole, ma con riferimento -generalmente- all'unità di massa; se tale lettera è sormontata dal simbolo "~" (tilde), il riferimento non è massico, bensì molare;
2) salva diversa esplicita indicazione, per quanto riguarda i simboli di grandezze fisiche intensive, le lettere maiuscole indicano proprietà assolute (o termodinamiche), mentre le corrispondenti lettere minuscole fanno riferimento a grandezze "relative";
3) le lettere sormontate da un punto, indicano le portate (cioè i flussi) della grandezza fisica indicata dalla lettera stessa (quantità riferita all'unità di tempo);
4) l'indicazione in carattere *corsivo* dei simboli delle varie grandezze fisiche non assume alcun significato particolare ed ha l'unico scopo di evidenziare il simbolo dal restante testo;
5) l'indicazione in carattere **grassetto** dei simboli di alcune grandezze fisiche ha talvolta lo scopo di indicare lettere greche maiuscole non altrimenti distinguibili da lettere latine maiuscole, nel caso in cui sia necessario impiegarle contemporaneamente; (ad esempio, con tale convenzione, "**E**" rappresenta una "ε" maiuscola se nello stesso contesto è necessario impiegare "E" per rappresentare una "e" maiuscola.

Alcune eccezioni rilevanti sono le seguenti:

- come simbolo della massa può essere utilizzata la lettera "emme" sia maiuscola che minuscola, non avendo in tal caso alcun significato la prima parte della convenzione indicata sopra al punto 1), resta invece efficace la seconda parte di detta convenzione e pertanto con $\tilde{m}$ viene indicata la massa molare;
- analogamente, non essendo di pratico interesse mantenere la convenzione indicata sopra al punto 1), con la lettera "enne" sia maiuscola che minuscola è indicata la quantità di sostanza espressa in moli;
- per motivi di consuetudine (anche se sono sempre più frequenti, nella letteratura scientifica, eccezioni a tale consuetudine), per quanto siano grandezze specifiche sono indicate col simbolo R (anziché r) la costante dello specifico gas ideale (grandezza massica) e con $\tilde{R}$ (anziché $\tilde{r}$) la costante universale dei gas ideali (grandezza molare);
- similmente a quanto detto al punto precedente, il potere calorifico è indicato con H (H_i quello inferiore e H_s quello superiore).

MASTER COPY
Tel. 388/9837745

ESEMPI

Simboli (lettere latine)

A	superficie, m^2;
C	capacità termica, J/K;
c	capacità termica massica, J/kg K;
$\tilde{c}$	capacità termica molare, J/mol K;
$\vec{C}$, $\vec{c}$	velocità assoluta, m/s;
D, d	diametro, m;
E	energia, J;
$\dot{E}$	flusso di energia, W;
e	energia massica, J/kg;
$\tilde{e}$	energia molare, J/mol;
G	funzione di Gibbs, J;
$\dot{G}$	flusso di funzione di Gibbs, W;
g	funzione di Gibbs massica, J/kg;
$\tilde{g}$	funzione di Gibbs molare, J/mol;
$\vec{g}$	accelerazione di gravità, m/s^2;
H	entalpia, J;
$\dot{H}$	flusso di entalpia, W;
h	entalpia massica, J/kg;
$\tilde{h}$	entalpia molare, J/mol;
H_i	potere calorifico inferiore, J/kg;
H_s	potere calorifico superiore, J/kg;
I	irreversibilità, J;
$\dot{I}$	flusso di irreversibilità, W;
i	irreversibilità massica, J/kg;
$\tilde{i}$	irreversibilità molare, J/mol;
K	costante di scambio termico, W/m^2 K;
k	esponente dell'adiabatica, adimensionale;
L, l	lato, m;
M, m	massa, kg;
$\dot{M}$, $\dot{m}$	flusso di massa, kg/s;
$\tilde{m}$	massa molare, kg/mol;
N, n	quantità di sostanza, mol;

$\dot{N}$, $\dot{n}$	flusso molare, mol/s;
N	regime di rotazione, giri/min;
n	regime di rotazione, giri/s;
P	pressione assoluta, Pa;
p	pressione effettiva ($P-P_0$), Pa;
Q	energia termica, J;
$\dot{Q}$	potenza termica, W;
q	energia termica massica, J/kg;
$\tilde{q}$	energia termica molare, J/mol;
R	costante di uno specifico gas ideale, J/kg K;
$\tilde{R}$	costante universale dei gas ideali, J/mol K
S	entropia, J/K;
$\dot{S}$	flusso di entropia, W/K;
s	entropia massica, J/kg K;
$\tilde{s}$	entropia molare, J/mol K
T	temperatura termodinamica, K;
t	temperatura Celsius, °C;
t	tempo, s;
U	energia interna, J;
$\dot{U}$	flusso di energia interna, W;
u	energia interna massica, J/kg;
$\tilde{u}$	energia interna molare, J/mol
$\bar{u}$	velocità di trascinamento, m/s;
V	volume, m^3;
$\dot{V}$	portata in volume, m^3/s;
v	volume massico, m^3/kg;
$\tilde{v}$	volume molare, m^3/mol
W	lavoro, J;
$\dot{W}$	potenza, W;
w	lavoro massico, J/kg;
$\tilde{w}$	lavoro molare, J/mol
$\bar{w}$	velocità relativa, m/s;
x, y	titolo, adimensionale;
Z	quota verticale, m.

Simboli (lettere greche)

α	costante di convezione termica, $W/m^2 K$;
β	funzione exergia massica, J/kg;
χ	grandezza fisica definita nel contesto;
Δ	grandezza fisica definita nel contesto;
δ	difetto di efficienza, adimensionale;
E	exergia, J;
$\dot{E}$	flusso di exergia, W;
ε	exergia massica, J/kg;
$\tilde{\varepsilon}$	exergia molare, J/mol;
γ	peso volumico, N/m^3;
η	rendimento energetico, adimensionale;
φ	rapporto: exergia chimica/potere calorifico inferiore, adimensionale;
λ	costante di conduzione termica, W/m K;
λ	*(k-1)/k*, adimensionale;
μ	parametro di integrazione termica, adimen.;
Π	produzione d'entropia, J/K;
$\dot{\Pi}$	flusso di produzione d'entropia, W/K;
π	produzione d'entropia massica, J/kg K;
$\tilde{\pi}$	produzione d'entropia molare, J/mol K;
θ	temperatura su scala arbitraria;
ρ	massa volumica, kg/m^3;
σ	costante d'irraggiamento termico, $W/m^2 K^4$;
τ	temperatura exergetica adimensionale;
τ	rapporto di combustione, adimensionale;
τ	T_{max}/T_{min}, adimensionale
ω	velocità angolare, rad/s;
ξ	grandezza fisica definita nel contesto;
ψ	rendimento exergetico, adimensionale;
ζ	grandezza fisica definita nel contesto.

Pedici

0	stato ambiente;
00	stato morto;
A, a	aria;
C	Carnot;
c	camino;
cc	camera di combustione;
cd	condensatore di vapore;
cg	cogenerazione;
e	exit (uscita); elettrico;
F	fuel (combustibile);
f	fumi (prodotti della combustione);
g	potenziale gravitazionale;
gv	generatore di vapore;
H	high (alto);
H, h	entalpia costante;
IRR	irreversibile;
i	inlet (ingresso), inferiore;
id	ideale;
IN	ingresso;
ℓ	limite;
k	cinetico;
L	low (basso);
m	motore, meccanico;
max	massimo;
min	minimo;
n	normale;
OUT	uscita;
P	prodotti;
p	potenziale gravitazionale
P, p	pressione costante;
pc	prodotti della combustione (fumi);
ph	fisico;
q	calore;
R	reagenti;
r	reale;
REV	reversibile;
S, s	entropia costante, superiore;

sp	spillamento di vapore;
T, t	temperatura costante;
tot	totale;
U, u	energia interna costante;
u	utile;
V, v	volume costante;
W, w	acqua, lavoro;
x	all'albero.

Apici

*	ideale;
0	stato ambiente standard;
00	stato morto standard.

Acronimi

C	compressore;
CC	camera di combustione;
CD	condensatore di vapore;
CG	cogenerazione;
CHP	Combined Heat and Power;
COP	coefficiente di prestazione;
CR	Control Region;
CS	Control Surface; Consumo Specifico;
EMR	serbatoio di materia uscente;
G	generatore elettrico;
GV	Generatore di Vapore;
HE	motore termico;
HP	pompa di calore;
HRSG	generatore di vapore a recupero di calore;
I	indice;
IMR	serbatoio di materia entrante;
MCI	motori alternativi a combustione interna;
MER	serbatoio di energia meccanica;
NPSH	Net Positive Suction Head;
P	pompa;
TER	serbatoio di energia termica;
RHE	motore termico reversibile;
RHP	pompa di calore reversibile;
S	scambiatore di calore;
SP	spillamento di vapore;
T	turbina;
TV	turbina a vapore;
TG	turbina a gas; turbogas;
TER	serbatoio di energia termica.

Simboli matematici

–	valore medio;
Δ	differenza, $\Delta X = X_{finale} - X_{iniziale}$;
d	operatore differenziale;
$\delta, \underline{d}, \not{d}$	variazione elementare;
$\prod_i^N X_i$	$X_1 \cdot X_2 \cdot \ldots \cdot X_N$;
$\sum_i^N X_i$	$X_1 + X_2 + \ldots + X_N$.

MASTER COPY

Tel. 388/9837745