



PAOLO TRUCILLO

ELEMENTI DI
MATERIALI INNOVATIVI
PER IL DESIGN
E INDICATORI
DI SOSTENIBILITÀ

ESERCIZIARIO



la Valle del Tempo



Tutti i volumi della collana sono sottoposti a doppio referaggio cieco.
La documentazione resta agli atti. In alcuni casi ci si avvale anche
di professori esterni al Comitato Scientifico, consultabile all'indirizzo
www.lavalledeltempo.com/la-casa-editrice.

Impaginazione di
Fabio Gallo – Studio Pagina32

Paolo Trucillo
Materiali Innovativi per il design e indicatori di sostenibilità

pp. 82; f.to 17x24
ISBN 979-12-81993-37-2

© la Valle del Tempo
Napoli, 2024

Iva assolta dall'Editore

Indice

Introduzione	4
1. Grandezza fisica, unità di misura, dimensione	6
1.1 <i>Richiami</i>	7
1.2 <i>Esercizi svolti</i>	10
1.3 <i>Esercizi proposti</i>	13
2. Densità e pesi specifici	15
2.1 <i>Richiami</i>	15
2.2 <i>Esercizi svolti</i>	15
2.3 <i>Esercizi proposti</i>	17
3. Proprietà meccaniche tenso deformative a trazione e compressione	19
3.1 <i>Richiami</i>	19
3.2 <i>Esercizi svolti</i>	21
3.3 <i>Esercizi proposti</i>	27
4. Proprietà meccaniche tenso deformative a flessione semplice e a taglio	32
4.1 <i>Osservazione preliminare</i>	32
4.2 <i>Richiami sulla flessione semplice</i>	32
4.3 <i>Richiami sul taglio</i>	35
4.4 <i>Esercizi svolti</i>	38
4.5 <i>Esercizi proposti</i>	43
5. Sollecitazioni termiche	49
5.1 <i>Richiami</i>	49
5.2 <i>Esercizi svolti</i>	50
5.3 <i>Esercizi proposti</i>	52
6. Analisi di sostenibilità	54
6.1 <i>Richiami</i>	54
6.2 <i>Esercizi svolti</i>	55
7. Esempi di prove intra-corso	70

*A mio padre,
che mi ha sempre guidato e sostenuto
e che ha contribuito alla redazione di questo lavoro con la sua esperienza.*

Introduzione

Questo manuale di esercizi è stato pensato per coloro che si affacciano allo studio delle proprietà dei materiali innovativi utilizzati nel design e per chi vuole comprendere a fondo gli indicatori di sostenibilità applicati all'Ingegneria dei materiali. L'obiettivo è fornire, almeno sugli argomenti trattati, non solo una base teorica, ma anche la dimestichezza con processi operativi che affrontano problemi concreti.

Il testo si articola, per ciascun argomento trattato, in un paragrafo di “richiami” dei contenuti e in esercizi svolti e proposti.

Nell'attuale contesto storico, la sostenibilità è diventata una priorità fondamentale per le aziende di produzione, specialmente in settori come quello del design, dove materiali e processi produttivi hanno un impatto significativo sull'ambiente.

Questo manuale si concentra su come misurare e analizzare indicatori chiave, come le emissioni di CO₂, il consumo di acqua, l'energia incorporata nei materiali e la gestione dei rifiuti. Attraverso esercizi specifici, gli studenti verranno guidati nel calcolo di questi parametri e comprenderanno come ottimizzare l'uso delle risorse, migliorando la sostenibilità dei processi di produzione.

Il manuale si sviluppa attraverso una serie di capitoli ciascuno dei quali affronta un tema chiave, con esercizi che simulano scenari reali di utilizzo:

- Richiami operativi di base su dimensioni e unità di misura delle grandezze fisiche.
- Densità e pesi specifici: un'introduzione alle caratteristiche fisiche dei materiali, con esempi operativi di calcolo di densità e peso specifico in diverse condizioni.



- Proprietà meccaniche tenso-deformative assiali (trazione e compressione). Viene esplorato il comportamento dei materiali sottoposti alle sollecitazioni meccaniche semplici di trazione e compressione.
- Proprietà meccaniche tenso-deformative ortogonali all'asse (flessione e taglio), con cenni meramente qualitativi alle sollecitazioni torsionali. In analogia al capitolo precedente vengono discussi, attraverso brevi richiami teorici ed esercizi, gli effetti delle sollecitazioni flessionali e di taglio.
- Sollecitazioni termiche. Il capitolo verte sugli effetti deformativi e tensionali che conseguono alle variazioni di temperatura. Come per i precedenti capitoli lo studio comprende brevi richiami teorici sui contenuti proposti.
- Analisi di sostenibilità: Uno degli elementi distintivi del manuale è l'approfondimento sugli indicatori di sostenibilità, essenziali per una progettazione responsabile. Si fornisce agli studenti un ausilio per il calcolo e l'interpretazione di parametri come la carbon footprint e l'efficienza energetica dei materiali.

Ogni capitolo segue una struttura metodica finalizzata a consolidare negli studenti la comprensione dei concetti base degli argomenti trattati e a proporre spunti esercitativi che facilitino l'acquisizione di capacità operative di base e stimolino magari l'interesse verso l'applicazione degli argomenti trattati nella pratica progettuale. Come già innanzi accennato, ogni capitolo inizia con un paragrafo dedicato a brevi richiami teorici, che spieghino in modo sintetico i concetti fondamentali. Successivamente si passa a una serie di esercizi svolti, con spiegazioni dettagliate delle metodologie operative adottate e dei passaggi necessari per risolvere i problemi. Infine, gli esercizi proposti stimolano gli studenti a cimentarsi nella risoluzione di problemi applicativi.





1. Grandezza fisica, unità di misura, dimensione

1.1 Richiami

Per “grandezza fisica” si intende qualsiasi entità, materiale o concettuale, esistente in natura o prodotta dall’uomo, che sia misurabile. Ad esempio, la temperatura è una grandezza fisica, la bellezza o la simpatia non lo sono.

Nel sistema di misura internazionale (S.I.), oggi usato nella maggior parte dei Paesi, esistono sette grandezze fisiche di base in funzione delle quali è possibile esprimere tutte le altre: la lunghezza, il tempo, la massa, la temperatura, l’intensità di corrente elettrica, la quantità di sostanza e l’intensità luminosa.

Per unità di misura di una grandezza fisica si intende un valore di riferimento della grandezza stessa che viene assunto come valore unitario. La misura della grandezza è quindi il rapporto fra la sua entità e quella del valore di riferimento unitario assunto, cioè dell’unità di misura adottata.

Il concetto di “dimensione fisica” di una grandezza fu introdotto nella prima metà del diciannovesimo secolo da Fourier nella sua “*Théorie analytique de la chaleur*”. Orbene, per “dimensione fisica” di una grandezza si intende la caratteristica comune a tutte le entità per le quali è possibile adottare le stesse unità di misura. Attenzione, *le stesse* unità di misura e non *la stessa*; per tutte le grandezze aventi una certa dimensione fisica è infatti possibile scegliere svariate unità di misura, che quasi sempre si corrispondono fra loro secondo rapporti maggiori o minori di uno che le classificano reciprocamente come multipli e sottomultipli. Ad esempio, per una grandezza fisica avente la dimensione di una lunghezza, o meglio per tutte le grandezze aventi tale dimensione, è possibile adottare come unità di misura il metro, il centimetro, il millimetro, il nanometro, il chilometro, l’anno luce ecc.

Può sembrar strano, ma le distanze sub atomiche, che hanno dimensione di lunghezza, possono esprimersi, sia pur con valori piccolissimi, ma non nulli, in chilometri o addirittura in anni luce, mentre analogamente le distanze interstellari, sia pur con valori enormemente





grandi, ma non infiniti, possono esprimersi in millimetri o addirittura in nanometri.

L'analisi dimensionale di una grandezza fisica o di un'espressione anche complessa contenente più grandezze consiste nella "scomposizione" della dimensione fisica delle grandezze in gioco nelle dimensioni fisiche di grandezze di base comprese fra le sette indicate nel sistema di misura internazionale. Così, ad esempio, la dimensione fisica di una velocità può esprimersi come rapporto fra la dimensione "lunghezza" e la dimensione "tempo", tenendo presente che la velocità è il rapporto fra uno spostamento (dimensione: lunghezza) e il tempo impiegato per compierlo (dimensione: tempo).

Operativamente, la traduzione scritta dell'analisi dimensionale viene usualmente eseguita usando i simboli delle grandezze fisiche in gioco racchiuse in parentesi quadre. Nell'esempio prima citato relativo alla velocità la traduzione scritta dell'analisi sarebbe:

$$[v] = [L] \cdot [T]^{-1}$$

È da notare che quando l'analisi dimensionale di una grandezza conduce a un risultato unitario la grandezza si dice "adimensionale". È cioè un "numero puro" privo di dimensioni fisiche.

Ben si comprende come l'analisi dimensionale può essere estremamente utile nella verifica della correttezza formale di un'espressione contenente grandezze fisiche. Appare infatti ovvio che in qualsiasi espressione polinomiale (comprese ovviamente le equazioni) le dimensioni fisiche di tutti i termini del polinomio devono essere uguali fra loro. I vecchi docenti di Fisica usavano un'espressione banale ma efficace: alle patate non è possibile sommare cipolle, altrimenti si avrebbe un coacervo disomogeneo di tuberi.

Nella tabella 1.1.1 che segue vengono indicate le dimensioni fisiche delle sette grandezze di base, il loro simbolo e la loro unità di misura fondamentale nel sistema di misura internazionale. Nella tabella 1.1.2 vengono invece indicati i prefissi e i simboli dei multipli e dei sottomultipli delle unità di misura fondamentali nonché i loro rapporti con queste ultime.



**Tab. 1.1.1**

Dimensione fisica	Simbolo Dimensione	Unità di misura fondamentale e relativo simbolo
Lunghezza	L	Metro (m)
Tempo	T	Secondo (s)
Massa	M	Kilogrammo (kg)
Temperatura	Θ	Grado Kelvin (K)
Intensità di corrente elettrica	I	Ampère (A)
Intensità luminosa	J	Candela (cd)
Quantità di sostanza	η	Mole (mol)

Tab. 1.1.2

Prefisso	Simbolo	Rapporto rispetto all'unità di misura fondamentale
yotta	Y	10^{24}
zetta	Z	10^{21}
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
ecto	h	10^2
deca	da	10
unità fondamentale		1
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}





1.2 Esercizi svolti

1.2.1 Si verifichi attraverso l'analisi dimensionale la correttezza formale dell'equazione del moto uniformemente accelerato (S: spostamento finale; S₀: spostamento iniziale V₀: velocità iniziale; t: tempo; a: accelerazione):

$$S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Svolgimento

Perché l'equazione sia formalmente corretta è necessario che tutti i termini del polinomio a secondo membro abbiano le stesse dimensioni del primo, siano cioè delle lunghezze. Effettuando l'analisi dimensionale risulta:

$$[L] = [L] + [L] \cdot [T]^{-1} \cdot [T] + [L] \cdot [T]^{-2} \cdot [T]^2 \text{ da cui:}$$

$$[L] = [L] + [L] + [L]$$

1.2.2 Si determini la dimensione fisica della deformazione lineare unitaria (ϵ) e del modulo di elasticità (E).

Svolgimento

$\epsilon = \Delta l / l_0$. In termini dimensionali quindi: $[\epsilon] = [L] \cdot [L]^{-1} =$ adimensionale.

$E = \sigma / \epsilon$. In termini dimensionali quindi: $[E] = [\sigma]$ in quanto ϵ è adimensionale.

Il modulo di elasticità ha dunque le stesse dimensioni fisiche di una tensione, cioè di una forza (massa \cdot accelerazione) per unità di superficie. Esplicitando anche le dimensioni fisiche dell'accelerazione si ha:

$$[E] = [\sigma] = [F] \cdot [L]^{-2} = [M] \cdot [a] \cdot [L]^{-2} = [M] \cdot [L] \cdot [T]^{-2} \cdot [L]^{-2} = [M] \cdot [L]^{-1} \cdot [T]^{-2}$$

In definitiva, con riferimento alle sette dimensioni fisiche fondamentali, sia il modulo di elasticità che la tensione risultano avere le dimensioni del rapporto fra una massa e il prodotto di una lunghezza per un tempo al quadrato.

