

MECCANICA DEI MATERIALI

QUIZ

- 1) Una matrice 3×3 consente la rappresentazione di:
 - a. Un tensore di ordine 2
 - b. Tensore di ordine 1
 - c. Tensore di ordine 4
 - d. Tensore di ordine 3
- 2) Il prodotto interno tra 2 tensori di ordine uno restituisce:
 - a. Uno scalare
 - b. Un tensore di ordine zero
 - c. Una matrice
 - d. Un tensore di ordine uno
- 3) Il prodotto esterno tra due vettori restituisce:
 - a. Un vettore ortogonale al piano generato dai due vettori di partenza
 - b. Un vettore
 - c. Una matrice simmetrica
 - d. Una matrice
- 4) La seconda equazione indefinita per l'equilibrio statico dei corpi continui:
 - a. Si esprime nella forma $\sigma = \sigma^T$
 - b. Esprime in forma locale l'equilibrio dei momenti
 - c. Si esprime nella forma $\text{div}(\sigma) + b = 0$
 - d. Esprime in forma locale l'equilibrio delle forze
- 5) La potenza delle tensioni interne:
 - a. Descrive la potenza che lo stress di Cauchy sviluppa per deformare il materiale
 - b. Descrive la potenza associata alla variazione di energia cinetica del punto materiale
 - c. Descrive la potenza che le forze volumetriche a distanza sviluppano per deformare il materiale
- 6) Un meccanismo di deformazione tempo-dipendente:
 - a. Può svilupparsi sia in forma reversibile che irreversibile
 - b. È generalmente associato ad un comportamento meccanico che prevede dissipazione energetica
 - c. È necessariamente di tipo irreversibile
- 7) La viscoelasticità dei materiali polimerici:
 - a. È sempre dovuta alla presenza nel materiale di una fase fluida viscosa in un polimero rigido reticolato
 - b. È legato al fatto che lo scorrimento delle catene molecolari avviene in modo diverso dalla velocità di deformazione
 - c. Si può osservare solo per tempi superiori a una o due ore
 - d. È un fenomeno fisico che dipende dalla natura molecolare e microstrutturale del materiale

- 8) Nell'ipotesi di comportamento visco-elastico:
- Durante una prova di creep, il modulo di creep E_{creep} decresce nel tempo fino a raggiungere il valore di equilibrio di E_{∞}
 - Durante una prova di creep, lo stato tensionale viene mantenuto costante
 - Durante la prova di creep la deformazione decresce nel tempo secondo legge esponenziale
- 9) Nell'ipotesi di comportamento viscoelastico:
- In riferimento ad una prova di carico-scarico, non si ha mai dissipazione energetica
 - Durante una prova carico-scarico, l'area di isteresi è funzione della velocità di deformazione
 - Durante una prova di carico-scarico, il materiale esibisce fenomeni di isteresi
- 10) Nell'ipotesi di comportamento viscoelastico, il modello di Zener:
- Prevede modulo di creep E_{creep} tendente a un valore di equilibrio per t che tende a infinito
 - Nell'ipotesi di prova di creep, non permette di interpretare la risposta elastica istantanea
 - Nell'ipotesi di prova di rilassamento delle tensioni, interpreta la dipendenza della tensione dal tempo
- 11) Nell'ipotesi di comportamento viscoelastico, il modello di Zener:
- Prevede un sistema a tre elementi costituito da una molla collegata in parallelo un ramo a sua volta costituito da molla e pistone in serie
 - Prevede una molla ed un pistone collega in serie
 - Prevede un sistema a tre elementi, costituito da un pistone collegato in parallelo a sua volta costituito da pistone e molla in serie
- 12) Nell'ipotesi di comportamento viscoelastico, il modello di Maxwell:
- Nell'ipotesi di prova di rilassamento delle tensioni, prevede diminuzione della tensione secondo andamento esponenziale decrescente
 - Nell'ipotesi di prova di creep, prevede incremento della deformazione secondo andamento logaritmico
 - Nell'ipotesi di prova di creep, prevede incremento della deformazione secondo andamento lineare
- 13) Nell'ipotesi di comportamento viscoelastico, il modello di Maxwell:
- Nell'ipotesi di prova di carico a velocità di deformazione costante, prevede modulo di Young apparente tendente a zero per velocità di deformazione tendente a zero
 - Nell'ipotesi di prova di creep, prevede incremento della deformazione secondo andamento logaritmico
 - Nell'ipotesi di prova di carico-scarico, interpreta la dipendenza dell'area di isteresi dalla velocità di deformazione
- 14) Nell'ipotesi di comportamento visco-elastico, il modello di Maxwell:
- Assume che molla e pistone sentono la medesima tensione
 - Prevede una molla e un pistone collega in serie
 - Prevede una molla ed un pistone collega in parallelo
- 15) Nell'ipotesi di comportamento visco-elastico, il modello di Kelvin-Voigt:
- Prevede modulo di creep E_{creep} decrescente nel tempo secondo decadimento esponenziale
 - Prevede modulo di creep E_{creep} decrescente nel tempo fino al valore nullo
 - Prevede modulo di creep E_{creep} tendente a infinito per tempi che tendono a infinito

- 16) Nell'ipotesi di comportamento viscoelastico, il modello di Kelvin-Voigt:
- Prevede modulo di Ecreep tendente a un valore di equilibrio per t che tende a infinito
 - Nell'ipotesi di prova di creep, è in grado di interpretare correttamente la risposta elastica istantanea
 - Nell'ipotesi di prova stress-relaxation, interpreta correttamente il decadimento del modulo di stress-relaxation Esr
- 17) Il passaggio di un corpo da una configurazione indeformata B_0 ad una configurazione deformata B :
- È determinato dall'applicazione di una sollecitazione meccanica del corpo
 - Può comportare contemporaneamente fenomeni di deformazione effettiva e di moto rigido
 - Non può includere processi di traslazione rigida
 - Comporta esclusivamente fenomeni di deformazione effettiva
- 18) Nell'ipotesi di comportamento elastico lineare, il tensore C gode delle simmetrie minori, e di conseguenza:
- $C_{ijkl} = C_{ljki}$
 - $C_{ijkl} = C_{klij}$
 - $C_{ijkl} = C_{jilk}$
- 19) Nell'ipotesi di comportamento elastico lineare risulta possibile la definizione di un tensore costitutivo C dove:
- $C = \partial W / \partial \epsilon$
 - $C = \partial \epsilon / \partial \sigma$
 - $\sigma = C : \epsilon$
- 20) Nell'ipotesi di comportamento elastico lineare risulta possibile la definizione di una tensione di un tensore costitutivo C dove:
- $C = \partial^2 W / \partial \sigma \partial \sigma$
 - $C = \partial \sigma / \partial \tau$
 - $C = \partial^2 W / \partial \epsilon \partial \epsilon$
- 21) Nell'ipotesi di comportamento elastico lineare risulta possibile la definizione di un tensore costitutivo C dove:
- $C = \partial W / \partial \epsilon$
- 22) Considerato un corpo soggetto a sollecitazione meccanica e caratterizzato dalla presenza di discontinuità geometrica, quale un taglio:
- Eseguendo l'analisi in campo elastico, in prossimità dell'apice dell'intaglio la tensione raggiunge un valore di picco
 - Eseguendo l'analisi in campo elastico, la discontinuità geometrica dà luogo a fenomeni di concentrazione delle tensioni
 - Eseguendo l'analisi in campo elastico, in prossimità dell'apice dell'intaglio la tensione raggiunge un valore di minima intensità
- 23) Nell'ipotesi di comportamento elasto-plastico:
- La deformazione plastica è generalmente assunta quale variabile interna
 - È richiesta la definizione di una legge di evoluzione della variabile interna
 - La dissipazione interna è sempre nulla

24) Nell'ipotesi di comportamento perfettamente elasto-plastico:

- a. La tensione di snervamento evolve con il procedere della deformazione plastica
- b. La fase di comportamento elastico è assente
- c. Durante una prova di carico uniassiale, raggiunta la tensione di snervamento il materiale continua a deformarsi indefinitamente in condizioni di tensione costante

25) Nell'ipotesi di un comportamento elasto-plastico, la condizione di coerenza stabilisce che:

- a. Se lo stato tensionale si trova sulla frontiera plastica, allora lo scorrimento plastico può aumentare
- b. Se lo stato tridimensionale si trova sulla frontiera plastica allora lo scorrimento plastico non può aumentare
- c. Se lo stato tensionale si trova entro il dominio elastico, allora lo scorrimento plastico può diminuire

26) Nell'ipotesi di comportamento elasto-plastico, la condizione di coerenza stabilisce che:

- a. Se lo stato tensionale si trova sulla frontiera plastica, allora lo scorrimento plastico non può aumentare
- b. Se lo stato tensionale si trova sulla frontiera plastica, allora lo scorrimento plastico può aumentare
- c. Se lo stato tensionale si trova entro il dominio elastico, allora lo scorrimento plastico può diminuire

27) Nell'ipotesi di un comportamento elastico lineare trasversalmente isotropo, indicata con e_1 la direzione preferenziale e con e_2 , e_3 le direzioni definite il piano di isotropia:

- a. Il modulo di Young E_3 è solitamente diverso rispetto al modulo di Young E_2
- b. I moduli di Poisson ν_{12} e ν_{13} sono uguali
- c. Il modulo di Young E_1 è solitamente diverso rispetto al modulo di Young E_3

28) Nell'ipotesi di comportamento elastico lineare trasversalmente isotropo:

- a. Il numero di costanti elastiche indipendenti è 6
- b. Nel piano di isotropia è possibile identificare due distinti valori per il modulo di Young
- c. Nel piano di isotropia il modulo di Young assume valore generalmente diverso rispetto al modulo di Young lungo la direzione preferenziale e ortogonale al piano di isotropia stesso

29) Considero un materiale ceramico:

- a. A causa del processo di fabbricazione, un componente prevede solitamente difetti di dimensioni distribuite secondo legge probabilistica
- b. La tenacità del materiale è elevata, e di conseguenza è lecito trascurare le dimensioni dei difetti presenti
- c. L'unico meccanismo di accumulo energetico legato alla propagazione di cricca consiste generalmente nella formazione di nuove superfici

30) Nel processo di incrudimento:

- a. L'energia per far avvenire lo scorrimento delle dislocazioni diminuisce perché sono molto dense
- b. La mobilità delle dislocazioni viene ridotta a causa dell'elevata densità
- c. All'aumentare della deformazione a freddo dei metalli, aumenta la densità di dislocazioni
- d. All'aumentare della temperatura, aumenta la densità di dislocazioni

31) Le dislocazioni nei metalli possono formarsi:

- a. A causa di trattamenti termici
- b. A causa di deformazioni elastiche
- c. A causa di deformazione plastica
- d. Durante la solidificazione

32) La sinterizzazione è il processo di densificazione di un materiale:

- a. Attraverso fusione e rapida solidificazione
- b. Attraverso la rimozione della porosità tra le particelle di partenza
- c. Attraverso trattamento termico a bassissima temperatura
- d. Attraverso la coalescenza di particelle adiacenti

33) Nell'analisi dinamico meccanica:

- a. Il modulo anelastico, o loss modulus, in funzione della temperatura, ha un andamento in cui si alterano dei plateau e delle zone di transizione a gradino
- b. Il rapporto tra il modulo anelastico e il modulo elastico è una misura del rapporto tra energia dissipata ed energia conservata durante la deformazione dinamica
- c. Gli intervalli di temperatura in cui si ha variazione del modulo elastico di diversi ordini di grandezza corrispondono a transizioni di stato del materiale
- d. Il modulo elastico, o modulo di storage, si può misurare solo per materiali che non mostrano proprietà viscoelastiche

34) Il meccanismo di tenacizzazione dei materiali ceramici a base di zirconia:

- a. Si basa sulla presenza della fase tetragonale metastabile anche a temperature ambiente
- b. Fa sì che, nel propagarsi di una cricca all'interno del materiale, la zirconia sia localmente soggetta a trasformazione di fase
- c. Permette di ottenere la zirconia nella fase più stabile e quindi con maggior resistenza meccanica
- d. Prevede la preparazione di un materiale con matrice monoclinica e fibre nella fase tetragonale

35) Il comportamento meccanico elasto-fragile dei materiali ceramici policristallini può essere legato:

- a. Alla porosità del materiale
- b. Alla presenza di inclusioni
- c. Alla presenza di cricche superficiali prodotte durante la finitura del materiale
- d. Alla compresenza di legami ionici, covalenti e intermolecolari

36) Data una funzione a valori matriciali $A(X)$ la cui variabile indipendente è una grandezza vettoriale X , la sua divergenza fornisce:

- a. Un tensore di ordine 1
- b. Lo scalare dA_{ii}/dX_i
- c. Un tensore di ordine 0
- d. Un vettore di componenti dA_{ij}/dX_j

37) L'energia libera di Helmholtz:

- a. Descrive la porzione del lavoro delle tensioni interne che viene accumulata in forma irreversibile entro il punto materiale
- b. Descrive la porzione del lavoro delle tensioni interne che può essere restituita nella forma di lavoro meccanico
- c. Coincide sempre con il lavoro delle tensioni interne

38) Dato il tensore di ordine due A:

- a. La sua componente simmetrica è data da $S = 0.5(A + A^T)$
- b. Risulta sempre possibile la decomposizione additiva in un tensore di ordine due simmetrico e un tensore di ordine due antisimmetrico
- c. La componente è data da $S = 0.5(A^T + A)$
- d. La componente antisimmetrica è data da $W = 0.5(A^T - A)$

39) Nei materiali composti fibro-rinforzati, le fibre di carbonio:

- a. Hanno elevata resistenza all'impatto
- b. Sono estremamente economiche e facili da produrre
- c. Presentano sempre le stesse proprietà meccaniche indipendentemente dal processo di fabbricazione
- d. Mostrano una buona combinazione di bassa densità, elevata resistenza meccanica ed elevato modulo elastico

40) Nei materiali composti fibro-rinforzati, le fibre di vetro:

- a. Rendono adatto ad applicazioni tecnologicamente avanzate ma molto costose
- b. Conferiscono al materiale composito buona meccanica e alto modulo elastico
- c. Migliorano la stabilità dimensionale e termica

41) Un meccanismo di deformazione irreversibile:

- a. Può essere istantaneo o tempo dipendente
- b. Può comportare fenomeni di elasto-plasticità o di danno
- c. È alla base del comportamento visco elastico dei materiali

42) Il punto materiale:

- a. Costituisce una posizione dello spazio x
- b. Può avere conformazione geometrica arbitraria
- c. Costituisce il vettore posizione
- d. Costituisce una porzione infinitesima di un corpo, identificata attraverso le coordinate del suo centroide X

43) Dato un sistema di riferimento costituito dai versori mutuamente ortogonali e_1 , e_2 , e_3 il prodotto esterno tra i vettori e_1 ed e_2 restituisce:

- a. Il versore $-e_3$
- b. Un versore ortogonale al piano generato dai versori e_1 ed e_2
- c. Il versore e_3
- d. Un versore appartenente al piano generato dai versori e_1 ed e_2

44) La stereoregolarità di una catena polimerica è:

- a. Una condizione che dipende esclusivamente dalla composizione chimica del polimero
- b. Una disposizione spaziale molto ingombrante che non permette alla catena di riarrangiarsi in una struttura cristallina
- c. Una condizione necessaria affinché il polimero possa cristallizzare
- d. Una disposizione spaziale regolare dei gruppi funzionali rispetto alla catena principale

45) Nel caso di materiali polimerici termoidurenti:

- a. Tra la temperatura di reticolazione e la temperatura limite, il modulo elastico rimane invariato
- b. Il valore massimo di modulo elastico si ottiene alla massima temperatura, prima di raggiungere il limite di stabilità termica del materiale
- c. Un incremento di temperatura provoca la reticolazione dei monomeri e un corrispondente incremento del modulo elastico
- d. La microstruttura del polimero si modifica costantemente al variare della temperatura

46) La deformazione di un punto materiale:

- a. Ha luogo attraverso alterazione della microstruttura
- b. Comporta una variazione della microstruttura, la quale si porta da una configurazione di maggiore energia ad...
- c. È sempre associabile a variazioni irreversibili nella microstruttura del materiale

47) Considerata una piastra caratterizzata dalla presenza di una cricca e soggetta a carico uni assiale:

- a. Eseguendo l'analisi in campo elastico, le tensioni prevedono distribuzione omogenea su tutto il volume della lastra
- b. Eseguendo l'analisi in campo elastico, la tensione di picco è tanto maggiore quanto minore è la larghezza del foro ellittico
- c. Eseguendo l'analisi in campo elastico, la tensione di picco è tanto maggiore quanto minore è il raggio di fondo intaglio del foro ellittico

48) Considerata una piastra caratterizzata dalla presenza di una cricca e soggetta a carico uni assiale:

- a. Secondo il criterio di Griffith, la cricca si espande a condizione che la forza termodinamica di opposizione R superi la forza termodinamica di propagazione G
- b. Combinando i criteri di Irwin e di Griffith, il fattore K esprime la tensione di rottura del materiale
- c. La tensione critica σ_g si riduce con la dimensione di cricca

49) Considerata una piastra caratterizzata dalla presenza di una cricca e soggetta a carico uni assiale:

- a. Secondo il criterio di Griffith, la cricca si espande a condizione che l'espansione comporti una riduzione dell'energia complessiva del sistema
- b. Secondo il criterio di Griffith, se l'espansione della cricca comporta un rilascio di energia elastica, allora la cricca si espande sicuramente
- c. Secondo il criterio di Griffith, la cricca si espande a condizione che incremento energetico legato all'espansione sia inferiore al rilascio di energia elastica

50) Nei materiali polimerici, il peso molecolare:

- a. Ha un marcato effetto su tutte le proprietà fisiche, incluse quelle meccaniche
- b. Influisce sulle proprietà fisiche fino ad un certo valore, oltre il quale tali proprietà risultano stabilizzate
- c. Ha effetto sulle proprietà meccaniche nel caso di polimeri cristallini
- d. Può essere incrementato fino ad un valore limite, oltre al quale le proprietà fisiche iniziano a peggiorare decisamente

51) La morfologia dello stato cristallino nei materiali polimerici:

- a. Può essere condizionata dalla presenza di sollecitazioni
- b. Dipende dalle condizioni di solidificazione da fuso o da soluzione
- c. È sempre di tipo sferulitico nei polimeri con basso grado di polimerizzazione

52) Che cosa significa rafforzare il metallo?

- a. Ridurre la mobilità delle dislocazioni
- b. Ridurre la concentrazione di difetti cristallini
- c. Ridurre la deformabilità del metallo a parità di tensione applicata

53) Nei solidi ionici:

- a. La disposizione degli atomi è determinata principalmente dalla dimensione degli ioni nel solido ionico
- b. Gli atomi assumono una disposizione più compatta possibile a causa delle piccole dimensioni dei cationi
- c. La disposizione degli atomi è determinata principalmente dalla necessità di bilanciare le cariche elettrostatiche per mantenere la neutralità

54) I bordi di grano sono:

- a. Difetti di superficie, cioè difetti che hanno estensione bidimensionale
- b. Superfici che separano grani cristallini con diversa orientazione cristallografica
- c. Difetti di superficie, cioè irregolarità della superficie esterna di un materiale cristallino

55) La fase cristallina più stabile della zirconia pura:

- a. Può essere la fase tetragonale o cubica ad elevata temperatura
- b. Si ottiene raffreddando molto velocemente la zirconia in fase tetragonale
- c. È la fase tetragonale a temperatura ambiente, come dimostrano le migliori proprietà meccaniche
- d. È la fase monoclinica a temperatura e pressione ambiente

56) Il movimento delle dislocazioni può avvenire:

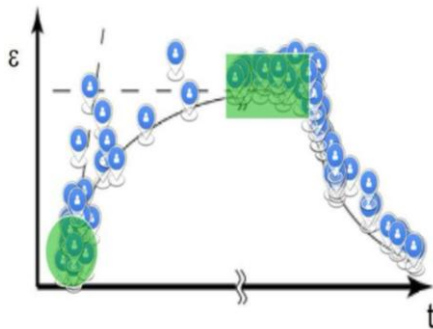
- a. Per geminazione
- b. Per raggiustamento degli atomi nell'intorno delle loro posizioni reticolari
- c. Per salto
- d. Per diffusione

57) Tra i metodi comunemente usati nella formatura della ceramica:

- a. La pressatura uniassiale consente di ottenere rapidamente un notevole quantitativo
- b. La pressatura isostatica consente di ottenere una distribuzione uniforme della densità del pezzo
- c. La tecnica di colata può essere utilizzata esclusivamente per la realizzazione di forme semplici

WOOCLAP

- 1) Questo grafico rappresenta la deformazione di un materiale descritto dal modello di Kelvin-Voigt durante una prova di creep: in quale zona non rispecchia il comportamento reale di un polimero viscoelastico?



- 2) Un reticolo di Bravais:
- È un reticolo bidimensionale
 - È un reticolo con una base di solo un atomo
 - È un insieme infinito di punti discreti aventi disposizione geometrica sempre uguale in tutto lo spazio
- 3) Gli indici di Miller:
- Indicano gli spigoli della cella convenzionale di un reticolo cubico
 - Indicano le direzioni metalliche
 - Indicano i piani cristallini
 - Sono i reciproci delle intersezioni frazionarie del piano con gli assi cristallografici della cella elementare, normalizzati a numeri interi
- 4) Cosa rappresenta il vettore di Burgers?
- Una traslazione del reticolo dovuta alla dislocazione, ovvero la direzione e l'entità della dislocazione
 - La direzione di propagazione della dislocazione
 - La distanza tra due dislocazioni a spigolo
 - Il vettore che unisce il punto finale con quello iniziale del circuito di Burgers
- 5) Cosa determina l'energia associata ai bordi di grano?
- La temperatura di solidificazione
 - L'orientazione reciproca dei grani contigui
 - La dimensione dei grani
- 6) Quali sono gli effetti dell'aumento della massa molecolare di un polimero?
- Aumenta la densità di reticolazioni fisiche
 - Aumenta la densità di reticolazioni chimiche
 - Aumenta la capacità di subire deformazioni plastiche prima della rottura
 - Diminuisce la temperatura di transizione vetrosa

7) Nei materiali polimerici termoplastici, all'aumentare della temperatura:

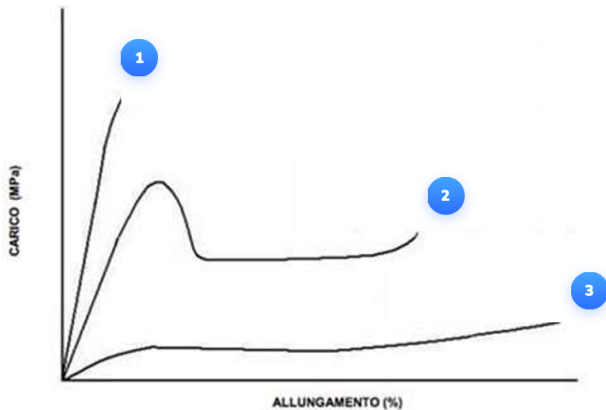
- a. Le catene polimeriche aumentano la loro mobilità
- b. Il modulo elastico diminuisce linearmente
- c. Il modulo elastico rimane costante
- d. Sono resi possibili moti molecolari a lungo raggio

8) Nei materiali polimerici termoindurenti:

- a. Un incremento di temperatura provoca la reticolazione dei monomeri
- b. Tra la temperatura di reticolazione e la temperatura limite, il modulo elastico resta invariato
- c. Si ha un aumento del modulo elastico con la temperatura, fino ad un valore massimo in corrispondenza della temperatura limite
- d. Si ha un incremento lineare della densità di reticolazioni al variare della temperatura

QUIZ AULA

Queste curve mostrano il comportamento meccanico tipico di un elastomero, un polimero termoplastico e un polimero termoindurente. Attribuisce ad ogni curva una tipologia di materiale polimerico.

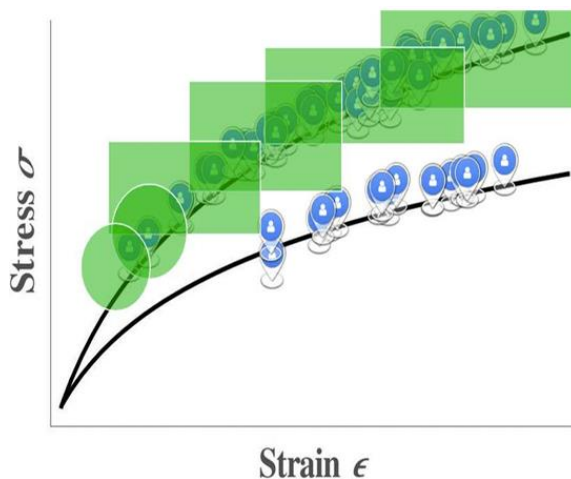


- (1) Polimero termoindurente
- (2) Polimero termoplastico
- (3) Elastomero

Qual è la morfologia cristallina di un polimero sollecitato a trazione?

- Fibrillare
- Dendritica
- Lamellare

Quale di queste due curve tensione-deformazione di un polimero viscoelastico è ottenuta mediante una prova di trazione a velocità più elevata?



In una prova di creep:

- Viene applicata una tensione istantanea
- Viene applicata una deformazione costante
- Viene applicata una deformazione che aumenta fino ad un valore massimo asintotico
- Viene applicata una tensione costante

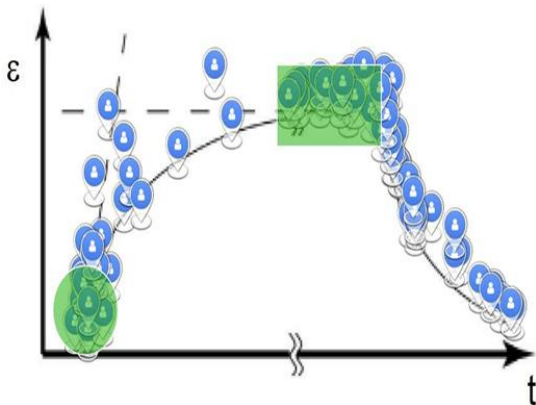
Il rilassamento delle tensioni:

- È dovuto all'allungamento dei legami covalenti intramolecolari
- È dovuto al riarrangiamento e allo scorrimento delle macromolecole polimeriche
- Avviene solo dopo aver deformato lentamente il materiale
- È un fenomeno che si verifica per polimeri soggetti a deformazione costante nel tempo

Il modello di Maxwell è costituito da:

- Un elemento elastico e un elemento viscoso in parallelo tra loro
- Un elemento elastico e un elemento viscoso a cui è applicata la stessa tensione
- Una molla e un pistone che sono soggetti alla stessa deformazione

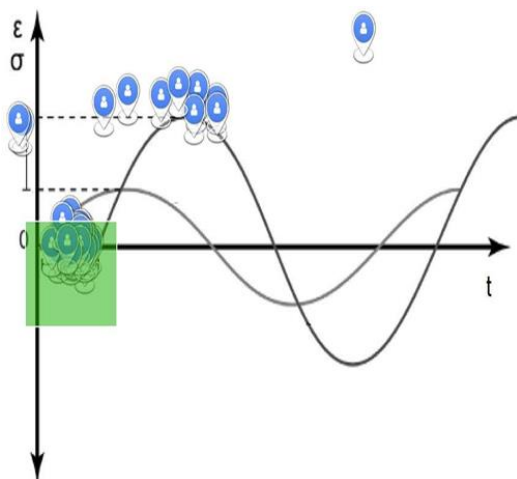
Questo grafico rappresenta la deformazione di un materiale descritto dal modello Kelvin-Voigt durante una prova di creep: in quale zona non rispecchia il comportamento reale di un polimero viscoelastico?



La costante di tempo o tempo di rilassamento:

- Indica la durata di una prova di rilassamento delle tensioni
- È il tempo in cui si sviluppa un fenomeno viscoelastico
- È il rapporto tra la viscosità e il modulo elastico nel modello di Maxwell
- È una costante che non dipende dalla struttura chimica e cristallina del materiale

Quale delle due barre presenti nell'immagine indica il ritardo tra la tensione e la deformazione in un prova DMA?



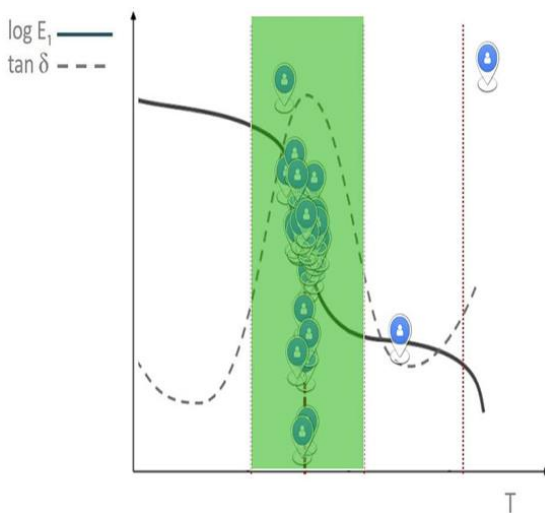
Quale di queste espressioni descrive la deformazione applicata in una prova DMA?

- $\epsilon = K \cdot \text{tempo}$
- $\epsilon = K \cdot \sin(w \cdot \text{tempo})$
- $\epsilon = K \cdot \exp(-\text{tempo}/\tau)$

Nei materiali ceramici, il legame atomico:

- È covalente, se la differenza di elettronegatività tra i diversi tipi di atomi presenti è molto elevata
- È ionico, se la differenza di elettronegatività tra i diversi tipi di atomi presenti è elevata
- Può presentare una percentuale di carattere ionico e di carattere covalente

In quale regione del grafico avviene la transizione vetrosa?



La fase cristallina più stabile della zirconia pura:

- È la fase tetragonale a temperatura e pressione ambiente
- È la fase monoclina a temperatura e pressione ambiente
- Si ottiene raffreddando molto velocemente la fase tetragonale
- È la fase con una maggiore tenacità

Quando una cricca inizia a propagarsi nella zirconia tenacizzata:

- Si ha rottura fragile immediata
- La zirconia è localmente soggetta a transizioni di fase
- Le fibre di fase tetragonale sostengono tutto il carico, anche in caso di rottura della matrice monoclina
- La formazione di una fase stabile di maggior volume si oppone alla propagazione

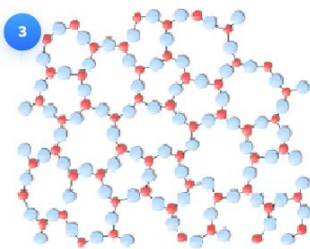
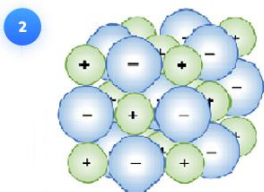
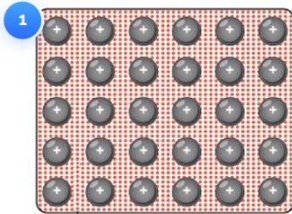
Nei solidi ceramici ionici, la disposizione degli atomi è determinata da:

- Dimensione relativa degli ioni
- Differenza di elettronegatività
- Necessità di bilanciare le cariche elettrostatiche per mantenere la neutralità elettrica
- Presenza di impurezze sostituzionali

Nella preparazione dell'impasto per la fabbricazione di materiali ceramici:

- La composizione chimica deve essere pura e non possono essere aggiunti additivi
- È importante il controllo delle dimensioni delle polveri
- Devono essere sempre miscelate polveri con diversa dimensione e composizione chimica

Indicare a quale classe di materiali appartengono le strutture chimiche in figura.

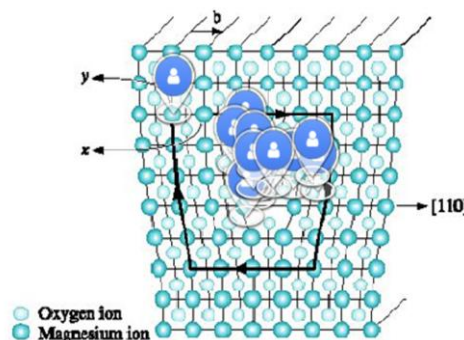
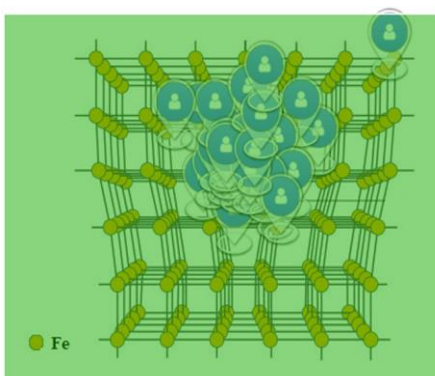


- (1) Metallo
- (2) Ceramico
- (3) Vetro

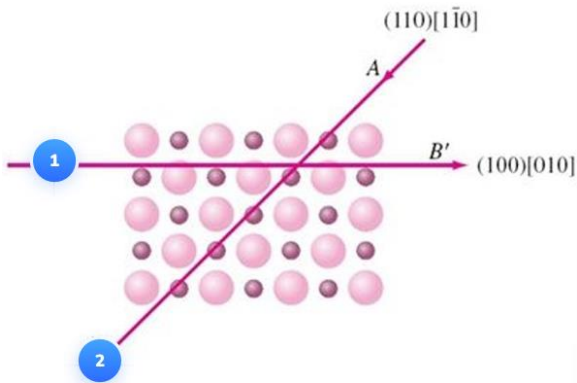
Qual è il modello viscoelastico più adatto a descrivere il creep?

- Modello di Maxwell
- Modello di Zener
- Modello di Kelvin-Voigt

In quale di queste due strutture cristalline la presenza della dislocazione aumenta la deformazione plastica?



Che cosa avviene quando un cristallo ionico con questa struttura viene sollecitato nelle due direzioni indicate?



- (1) Cleavage
- (2) Deformazione plastica

Il comportamento meccanico dei materiali ceramici:

- È fortemente dipendente dal tempo
- È di tipo elasto-plastico
- È di tipo elasto-fragile
- È di tipo elasto-fragile solo per sollecitazioni molto veloci

Nella produzione di componenti ceramici, la pressatura uniassiale consente di:

- Realizzare geometrie complesse
- Ottenere rapidamente un'elevata quantità di pezzi
- Ottenere pezzi con densità omogenea e accurata
- Operare a temperature non elevate

Le fibre aramidiche utilizzate nei materiali compositi fibro-rinforzati:

- Sono costituite da poliammidi aromatiche altamente cristalline
- Sono costituite da poliammidi con catene alifatiche perfettamente allineate
- Non mostrano comportamento viscoelastico
- Hanno modulo elastico maggiore di tutte le altre tipologie di fibre

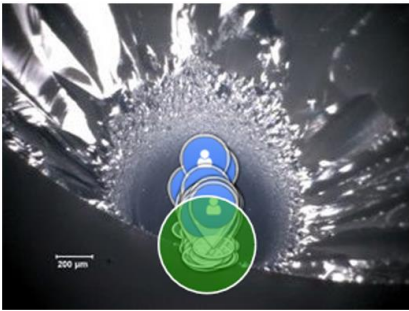
Nel processo di sinterizzazione allo stato solido:

- Avvengono processi di trasporto di massa
- Aumenta la concentrazione di vacanze
- Cambia la composizione chimica del materiale ceramico
- La struttura cristallina del materiale ceramico è la stessa delle polveri

Le fibre di vetro utilizzate nei materiali compositi fibro-rinforzati:

- Sono molto costose
- Sono altamente cristalline
- Rendono il composito estremamente fragile
- Conferiscono buona resistenza meccanica e alto modulo elastico

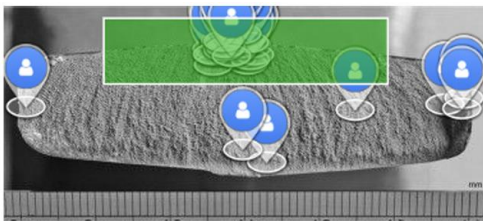
Da dove ha avuto origine la frattura di questo componente in vetro?



La direzione di propagazione delle cricche in un materiale ceramico dipende:

- Da gradienti di temperatura e umidità
- Dalla resistenza meccanica del materiale
- Dalle condizioni di carico
- Dalle dimensioni dei cristalliti in un materiale policristallino

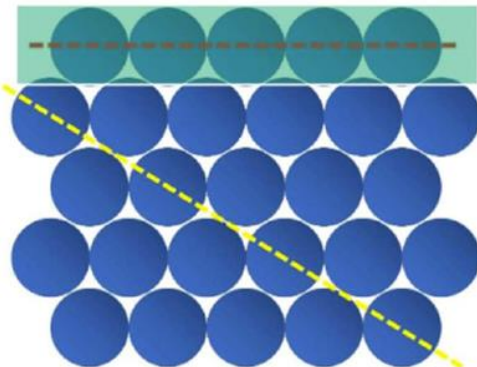
Da dove ha avuto origine la frattura di questo componente ceramico?



La sinterizzazione è il processo di densificazione di un materiale realizzato:

- Attraverso fusione e solidificazione di particelle di polvere ceramica
- Attraverso la rimozione della porosità tra particelle di polvere ceramica
- Applicando una pressione molto elevata a temperatura ambiente

Lungo quale di questi due piani (indicati dalle linee tratteggiate) avverrà preferenzialmente la deformazione plastica?



Che cosa sono le dislocazioni?

- Difetti dovuti alla presenza di impurezze distribuite lungo una linea
- Difetti che creano una distorsione del reticolo cristallino lungo una linea
- Difetti che separano diversi grani cristallini

Le matrici polimeriche più utilizzate per la realizzazione di materiali compositi fibro-rinforzati sono:

- Resine aramidiche
- Resine epossidiche
- Polietilene ad alto peso molecolare
- Resine termoindurenti

Il comportamento meccanico elasto-fragile dei materiali ceramici policristallini può essere legato a:

- Compresenza di legami ionici e covalenti
- Presenza di cricche superficiali
- Elevata densità di dislocazioni
- Elevata porosità

Quando due dislocazioni dello stesso tipo ma di segno opposto di incontrano sullo stesso piano reticolare:

- Si eliminano reciprocamente
- Si respingono tra di loro
- Si può formare un cristallo localmente privo di difetti
- Si forma un cristallo con una maggior concentrazione di difetti

La configurazione strutturale dei materiali polimerici:

- È costituita da atomi di carbonio disposti secondo un reticolo cubico nei polimeri cristallini
- È spesso costituita da una compresenza di domini cristallini e domini amorfi
- Può essere disordinata, del tipo “gomitolo statistico”

La deformazione plastica di un monocristallo metallico può avvenire:

- Mediante un meccanismo di scorrimento lungo specifici piani cristallografici
- Mediante processi diffusivi degli atomi del metallo, prevalentemente ad alta temperatura
- Mediante germinazione, creando una particolare struttura cristallina simmetrica rispetto ai bordi di grano

Che cosa sono i bordi di grano?

- Difetti di superficie, che si estendono in tutto il volume di un materiale policristallino
- Superfici che separano grani cristallini con diversa orientazione cristallografica
- Strati di ossido che circondano i diversi grani cristallini
- Regioni amorfe che separano i diversi grani cristallini

Nei biomateriali metallici, la struttura cristallina più stabile:

- È sempre di tipo cubico
- Può cambiare a seconda delle condizioni di temperatura e pressione
- È generalmente cubica o esagonale

La deformazione plastica per germinazione:

- Consente la formazione di nuovi sistemi di scorrimento
- È sempre favorita perché richiede una minor energia rispetto ad altri meccanismi di deformazione
- È favorita a bassa temperatura nei metalli con struttura cubica a corpo centrato
- È favorita ad alta temperatura nei metalli con struttura cubica a facce centrate

La deformazione plastica per scorrimento può avvenire:

- In un monocristallo, se il piano di scorrimento è inclinato rispetto all'asse della sollecitazione di un angolo diverso da 90°
- In un monocristallo, se il piano di scorrimento è ortogonale all'asse della sollecitazione
- In un metallo policristallino, solo se tutti i cristalliti hanno un piano di scorrimento inclinato rispetto all'asse della sollecitazione di un angolo diverso da 90°
- In un metallo policristallino, nei cristalliti che hanno un piano di scorrimento inclinato rispetto all'asse della sollecitazione di un angolo diverso da 90°

Qual è il ruolo delle dislocazioni nei meccanismi di deformazione plastica?

- La rendono più facile perché abbassano di vari ordini di grandezza l'energia necessaria allo scorrimento dei piani
- Creano disordine nella struttura cristallina, imponendo lo scorrimento dei piani
- Permettono un minor spostamento degli atomi dalle loro posizioni di equilibrio durante la deformazione
- La rendono più difficile perché dislocazioni di ugual segno si respingono tra loro

In presenza di una elevata densità di dislocazioni (10^{12} dislocazioni/cm²):

- La deformazione plastica avviene a bassissima energia e il metallo è estremamente duttile
- Le dislocazioni si ostacolano reciprocamente nello scorrimento, richiedono maggiore energia per la deformazione plastica
- Il metallo diventa molto rigido
- Il metallo diventa molto resistente allo snervamento

Il rafforzamento per precipitazione è efficace se:

- Si porta in soluzione un'elevata concentrazione di elementi indurenti
- I precipitati sono molto fini e coerenti con la matrice
- I precipitati ai bordi di grano creano una barriera molto spessa allo scorrimento delle dislocazioni
- Il trattamento di invecchiamento avviene a temperatura e tempi elevati

Nei materiali metallici, gli atomi sono disposti:

- Secondo un reticolo cristallino perfetto, che si estende identico nelle tre dimensioni
- In cristalli con struttura ordinata, ma in cui possono essere presenti imperfezioni e difetti
- Secondo una disposizione casuale nel volume del materiali, in cui tutti gli elettroni sono liberi di muoversi

Che cosa si intende per stereoregolarità?

- È una disposizione spaziale regolare dei gruppi funzionali rispetto alla catena di un polimero
- È una disposizione tridimensionale del polimero secondo un reticolo cubico
- È una condizione di regolarità strutturale che consente l'allineamento delle catene polimeriche
- È una struttura regolare del polimero che impedisce la cristallizzazione

La morfologia della struttura cristallina dei materiali polimerici:

- È prevalentemente di tipo cubico o esagonale
- Può essere di tipo lamellare o sferulitico
- Può essere modificata a seguito di sollecitazioni meccaniche
- È sempre di tipo lamellare nei polimeri non ramificati

Il fattore di Compattazione Atomica:

- Dipende dalla composizione chimica del metallo e dalla dimensione del raggio atomico
- Dipende dal tipo di struttura cristallina e da quanto gli atomi sono vicini tra loro
- È sempre compreso tra i valori 0.75 e 1 per i metalli con struttura cristallina compatta

Quali metodi si possono utilizzare per rafforzare un metallo?

- Aumentare le dimensioni dei grani
- Aumentare la superficie dei bordi di grano
- Applicare una deformazione elastica ciclica
- Applicare una deformazione plastica a freddo

A seguito di un trattamento di riduzione delle dimensioni dei grani:

- Aumenta la densità delle dislocazioni all'interno dei grani cristallini
- Le dislocazioni incontrano maggiori barriere al loro scorrimento all'interno di ogni grano cristallino
- Le dislocazioni incontrano maggiori barriere al loro scorrimento in corrispondenza di bordi di grano
- La resistenza meccanica aumenta fino ad un valore massimo per grani di dimensioni dell'ordine di 10 nm

Nel trattamento di incrudimento:

- All'aumentare della temperatura, aumenta la densità di dislocazioni
- All'aumentare della deformazione a freddo, aumenta la densità di dislocazioni
- All'aumentare della densità di dislocazioni, aumenta la resistenza meccanica
- All'aumentare della densità di dislocazioni, aumenta la duttilità

In un reticolo cristallino, le vacanze:

- Sono siti reticolari in cui non è presente un atomo del metallo
- Sono punti del reticolo cristallino in cui varia il fattore di compattazione atomica
- Sono difetti di punto che sono presenti molto raramente nei materiali metallici

A seguito della formazione di una soluzione solida metallica:

- Aumenta la mobilità delle dislocazioni perché il reticolo cristallino è meno ordinato
- Le dislocazioni vengono bloccate nel loro scorrimento a causa dell'interazione con atomi di soluto
- Aumenta la resistenza meccanica indipendentemente dalla concentrazione di soluto
- La resistenza meccanica aumenta in modo diverso a seconda della composizione chimica del soluto

DOMANDE APERTE (CARNIEL)

1) Descrivere il comportamento perfettamente elastoplastico ed elastoplastico incrudente di un materiale.

Per tensioni inferiori alla tensione di snervamento il materiale si trova in DOMINIO ELASTICO, che è uguale in entrambi i comportamenti. I meccanismi di deformazione si sviluppano in forma reversibile. La tensione viene accumulata completamente sotto forma di energia interna (dilatazione dei legami), per poi venire completamente utilizzata nel ritorno (completamente elastico) alla condizione iniziale alla fine dell'applicazione della tensione.

Al raggiungimento della tensione critica (tensione di snervamento) il materiale entra nel DOMINIO PLASTICO, che presenta differenze per i due comportamenti:

- Nel comportamento perfettamente elastoplastico, la deformazione plastica è causata da una tensione costante pari alla tensione di snervamento, che rimane costante. Si ha un aumento della deformazione con tensione costante. I meccanismi di deformazione si sviluppano con continuità in forma irreversibile sotto l'azione di una tensione costante.
- Nel comportamento elastoplastico incrudente (più realistico) la formazione di dislocazioni va a aumentare la tensione di snervamento, proporzionalmente alla deformazione plastica. La tensione necessaria per rimanere in frontiera plastica aumenta di conseguenza, il materiale si comporta in maniera plastica se e solo se la tensione cresce. La tensione di snervamento resterà pari al valore raggiunto anche dopo il rilascio della tensione e il ritorno elastico. Per provocare nuove deformazioni plastiche la tensione applicata deve superare la tensione applicata in precedenza.

L'INCRUDIMENTO può essere usato per incrementare il range di comportamento elastico (aumento della resistenza) di un materiale, tuttavia lo rende più fragile (necessita minore dissipazione di energia per raggiungere rottura).

2) Descrivere il significato delle condizioni di persistenza e di coerenza.

CONDIZIONE DI COERENZA: $\dot{\Phi} \dot{\lambda} = 0$ con $\Phi = \sigma - \sigma_y$

Implica che:

- se il flusso plastico $\dot{\lambda}$ è positivo, allora la tensione σ deve essere pari alla tensione di snervamento σ_y e quindi si è in frontiera plastica
- se il potenziale Φ è positivo, allora la variazione della deformazione plastica $\dot{\lambda}$ deve essere nulla e quindi si è in dominio elastico

Le condizioni di complementarità si riferiscono all'equilibrio delle deformazioni, richiedendo che le deformazioni siano compatibili e coerenti tra di loro, evitando la presenza di distorsioni inaccettabili.

CONDIZIONE DI PERSISTENZA: $\dot{\Phi} \dot{\lambda} = 0$

Implica che:

- se il flusso plastico è positivo, allora la variazione di Φ è necessariamente nulla e quindi si è in frontiera plastica
- se c'è variazione di Φ , allora il flusso plastico deve essere nullo e quindi si è in dominio elastico

Le condizioni di persistenza, nel contesto della meccanica dei materiali, si riferiscono alle condizioni necessarie affinché un campo di tensioni e deformazioni possa persistere in un

materiale. Queste condizioni implicano che il materiale debba soddisfare gli equilibri statico e dinamico, garantendo che le forze interne e le forze esterne siano in equilibrio.

3) Descrivere alcuni aspetti salienti del comportamento tempo dipendente dei materiali viscoelastici.

Il comportamento tempo dipendente dei materiali viscoelastici è caratterizzato da una risposta meccanica alle sollecitazioni che varia nel tempo. I meccanismi tempo dipendenti dei materiali viscoelastici sono generalmente DISSIPATIVI e possono essere reversibili (viscoelasticità) o irreversibili (visco-elasto-plasticità, visco-elasto-danno).

- FENOMENOLOGICAMENTE, il comportamento tempo dipendente determina una dipendenza della pendenza della curva tensione-deformazione dalla velocità di deformazione. Di conseguenza, si ha un modulo di Young apparente che è funzione del tempo di deformazione del materiale e che assume valori compresi tra la rigidità istantanea (rigidità per il tempo che tende a zero) e la rigidità di equilibrio termodinamico (rigidità per il tempo che tende ad infinito). Inoltre, i materiali viscoelastici presentano isteresi nei cicli di carico-scarico (perdita di energia) e la loro risposta al carico è influenzata dalla temperatura e dal tempo, con effetti di rilassamento e creep. Il comportamento può essere descritto da modelli quali il modello di Zener.
- MICROSTRUTTURALMENTE, il comportamento tempo dipendente dei materiali viscoelastici è dovuto al fatto che i fenomeni reversibili richiedono tempo per potersi sviluppare. L'energia spesa per sviluppare questi meccanismi di deformazione viene in parte utilizzata per modificare la microstruttura (energia immagazzinata in forma potenzialmente reversibile) e in parte dissipata (meccanismi dissipativi).

4) Descrivere le capacità predittive del modello di Maxwell e di Kelvin-Voigt.

- Il modello di MAXWELL predice correttamente il comportamento di isteresi (prova di carico-scarico), ma presenta dei limiti per le prove di creep, stress relaxation e trazione a velocità di deformazione costante. In particolare, in queste prove, non riesce a predire correttamente il comportamento per un tempo tendente ad infinito, in quanto non modella E^∞ (a cui tende il comportamento reale).
- Il modello di KELVIN-VOIGT, invece, per la prova di creep non predice correttamente il comportamento per un tempo che tende a zero (assume E infinita), ma approssima correttamente il comportamento per un tempo tendente ad infinito. È inoltre irrealistica la sua predizione lineare per la prova di deformazione costante. È impossibile usarlo per predire una prova di stress relaxation in quanto il pistone in parallelo impedisce una deformazione istantanea.

5) Descrivere le capacità predittive del modello di Zener.

Il modello di Zener permette le predizioni più accurate tra i vari modelli. È composto da un ramo elastico ed un ramo di Maxwell. Le prove di creep, carico scarico e deformazione costante predicono correttamente il modulo elastico apparente, compresi i suoi asintoti (E^0 e E^∞). La prova di carico-scarico modella correttamente l'isteresi risultante. Non permette l'analisi di comportamenti viscoelastici complessi, con presenza di più di una componente viscosa, ma può venire generalizzato per comprendere anche questi materiali (aggiungendo ulteriori rami di Maxwell per ogni ulteriore componente viscosa).

6) Fornire una classificazione dei meccanismi di deformazione.

Possiamo definire vari meccanismi di deformazione:

- ELASTICO, caratterizzato da una completa accumulazione dell'energia di deformazione (meccanismo non dissipativo e reversibile).
- ELASTOPLASTICO, caratterizzato da un dominio elastico e una frontiera plastica di deformazione permanente del materiale in funzione della tensione applicata (meccanismo irreversibile e dissipativo). Si divide ulteriormente in un modello teorico (elastoplastico perfetto) e uno più realistico (elastoplastico incrudente).
- VISCOELASTICO, caratterizzato da un modulo elastico apparente tempo dipendente. Il modulo ha un comportamento asintotico compreso tra i due moduli limite per tempi che tendono a zero o ad infinito (meccanismo tempo dipendente e dissipativo).
- ELASTOFRAGILE, caratterizzato da un dominio elastico fino in prossimità della rottura.

I meccanismi di deformazione possono essere:

- REVERSIBILI, se comportano un'alterazione reversibile nella configurazione microstrutturale
- IRREVERSIBILI, se inducono un'alterazione completamente irreversibile
- PARZIALMENTE IRREVERSIBILI, se l'alterazione è solo parzialmente recuperabile
- NON DISSIPATIVI, se tutto il lavoro per attuare il meccanismo è accumulato nella forma dell'energia libera di Helmholtz (restituibile nella forma di lavoro meccanico)
- DISSIPATIVI, se tutta l'energia viene dissipata
- ISTANTANEI, se non richiedono tempo per svilupparsi in seguito all'applicazione dello stimolo
- TEMPO DIPENDENTI, se richiedono un determinato tempo per svilupparsi (se lo stimolo non garantisce il tempo richiesto, il meccanismo si sviluppa solo parzialmente)

I meccanismi reversibili possono essere non dissipativi e istantanei (meccanismo elastico) o dissipativi e tempo dipendenti (meccanismo viscoelastico). I meccanismi irreversibili sono dissipativi e possono essere istantanei (meccanismo elastoplastico) o tempo dipendenti (visco-elasto-plasticità, visco-elasto-danno).

7) Descrivere in termini generali le modalità di formulazione del modello costitutivo.

Per formulare un modello costitutivo, bisogna individuare la RELAZIONE COSTITUTIVA tra tensione, deformazione, variabili interne e la LEGGE DI EVOLUZIONE delle variabili interne. Le relazioni possono essere ottenute attraverso l'analisi di dati sperimentali, l'uso di principi fisici fondamentali o l'applicazione di teorie specifiche. In seguito, bisogna verificare la coerenza con la DISUGUAGLIANZA DISSIPATIVA DI CLAUSIUS-DUHEM e l'ENERGIA LIBERA DI HELMHOLTZ. Infine, si mette a confronto il modello con le prove sperimentali, in modo da poterne studiare i punti di criticità e i limiti. I modelli costitutivi possono essere formulati in termini di equazioni differenziali, relazioni costitutive, leggi materiali o attraverso l'uso di approcci numerici e simulazioni al computer.

8) Comportamento di un punto materiale quando subisce deformazione (energetico e microstrutturale).

Quando si ha una deformazione, l'ENERGIA viene accumulata dal punto materiale sotto forma di energia libera di Helmholtz e dissipata sotto forma di calore per fenomeni di attrito, modifica o rottura di legami. Anche dall'analisi MICROSTRUTTURALE si osservano

dei meccanismi energetici nella deformazione del punto materiale. Nella configurazione indeformata del punto materiale, la microstruttura è stabile perché si trova in una configurazione di minimo energetico (condizione di equilibrio). Tuttavia, nel passaggio alla configurazione deformata del punto materiale, la configurazione microstrutturale viene modificata e si porta in una condizione di energia superiore (le forze atomiche cercano di riportare all'equilibrio). I legami atomici, infatti, si possono dilatare (accumulo di energia, tipico del comportamento elastico), rompere e riformare causando deformazione (ad esempio nel movimento delle dislocazioni), oppure rompere, causando formazione di cricche. L'energia necessaria per lo sviluppo di meccanismi di deformazione, e quindi l'alterazione della configurazione microstrutturale, è fornita dal lavoro delle tensioni applicate.

9) Definizione energia libera di Helmholtz, in particolare legame con i lavori interni e che significato assume nei materiali elastici.

L'energia libera di Helmholtz è l'energia restituibile sotto forma di lavoro meccanico, ovvero l'energia accumulata dal materiale in forma REVERSIBILE. È sempre minore o uguale rispetto ai LAVORI DELLE AZIONI INTERNE, come descritto dalla disuguaglianza dissipativa di Clausius-Duhem. Nei MATERIALI ELASTICI tutto il lavoro meccanico svolto per deformarli viene accumulato in forma reversibile, ovvero in energia libera di Helmholtz, nella tensione di legame tra i legami atomici del materiale.

10) Descrizione di reversibilità, irreversibilità, tempo dipendenza, istantaneità, dissipazione e non, di un processo deformativo.

Un processo deformativo è:

- REVERSIBILE, se comporta un'alterazione reversibile nella configurazione microstrutturale (il materiale può tornare nella condizione iniziale)
- IRREVERSIBILE, se inducono un'alterazione completamente irreversibile (l'energia viene dispersa in deformazioni plastiche o formazione di fratture/cricche)
- NON DISSIPATIVO, se tutto il lavoro per attuare il meccanismo è accumulato nella forma dell'energia libera di Helmholtz (restituibile nella forma di lavoro meccanico)
- DISSIPATIVO, se tutta l'energia viene dissipata (attraverso attriti, calore, deformazioni plastiche)
- ISTANTANEO, se non richiedono tempo per svilupparsi in seguito all'applicazione dello stimolo
- TEMPO DIPENDENTE, se richiedono un determinato tempo per svilupparsi (se lo stimolo non garantisce il tempo richiesto, il meccanismo si sviluppa solo parzialmente)

I meccanismi reversibili possono essere non dissipativi e istantanei (meccanismo elastico) o dissipativi e tempo dipendenti (meccanismo viscoelastico). I meccanismi irreversibili sono dissipativi e possono essere istantanei (meccanismo elastoplastico) o tempo dipendenti (visco-elasto-plasticità, visco-elasto-danno).

11) Evidenze sperimentali sui materiali viscoelastici riguardo: rilassamento tensioni, creep, influenza della velocità di deformazione nelle prove di carico a velocità di deformazione costante, area di isteresi.

- Imponendo in forma pressoché istantanea una certa deformazione costante nel tempo, si osserva un fenomeno di STRESS RELAXATION. La tensione si riduce gradualmente nel tempo, fino al raggiungimento di un limite inferiore.

- Nelle prove di CREEP viene imposta una tensione costante nel tempo che provoca una deformazione che aumenta nel tempo fino al raggiungimento di un limite superiore.
- A seguito di prove di carico a VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE COSTANTE, si osserva una dipendenza del modulo di Young apparente dalla velocità di deformazione. Il modulo di Young apparente presenta un limite inferiore (per velocità che tendono a zero), un limite superiore (per velocità che tendono ad infinito) e aumenta all'aumentare della velocità. Inoltre, a parità di tensione, per velocità maggiori si hanno deformazioni maggiori.
- L'AREA DI ISTERESI descrive, in un processo di carico-scarico, la dissipazione energetica ed è data dalla differenza tra l'area sottesa dalla curva di carico e l'area sottesa dalla curva di scarico. L'area di isteresi tende da zero per velocità che tendono a zero o infinito.

12) Materiali fibro-rinforzati: modulo di Poisson e Young.

Per determinarle il modulo di Poisson e il modulo di Young, si ipotizza che le fibre siano lunghe continue, caratterizzate da diametro costante ed allungate tutte lungo la medesima direzione. Si ipotizzano, inoltre, un comportamento elastico lineare sia delle fibre che della matrice, un'interfaccia fibre-matrice perfetta, una porosità assente o comunque trascurabile. Nei materiali fibro-rinforzati, l'orientazione, la concentrazione e la disposizione delle fibre possono influenzare sia il modulo di Poisson che il modulo di Young.

- Il MODULO DI YOUNG è funzione dei moduli di matrice e fibre e, quindi, della frazione volumetrica di fibre. Il modulo elastico longitudinale è quello valutato secondo direzione parallela alle fibre, lungo tale direzione le fibre e matrice lavorano in parallelo. Lungo la direzione longitudinale, il modulo di Young aumenta in maniera lineare all'aumentare della frazione volumetrica delle fibre, in un intervallo compreso tra il modulo elastico della matrice e quello delle fibre. Il modulo elastico trasversale è quello valutato secondo direzione ortogonale alle fibre, lungo tale direzione le fibre e la matrice lavorano in serie. I valori minimo e massimo sono gli stessi del modulo elastico longitudinale (rispettivamente modulo elastico della matrice e modulo elastico delle fibre), tuttavia si osserva un incremento non lineare all'aumentare della frazione volumetrica delle fibre.
- Il MODULO DI POISSON viene assunto uguale sia per le fibre che per la matrice e viene calcolato tramite ragionamenti analoghi a quelli del modulo di Young. Ha caratteristiche tipiche dei materiali trasversalmente isotropi.

Il modulo di Poisson è una misura della capacità dei materiali di contrarsi in direzione trasversale quando sono sottoposti a uno sforzo unidirezionale. Questo modulo rappresenta il rapporto tra la deformazione laterale e la deformazione longitudinale. Il modulo di Young, d'altra parte, è una misura della rigidità del materiale e rappresenta il rapporto tra lo sforzo applicato e la relativa deformazione longitudinale.

13) Modello costitutivo: descrivere ruolo matematico e fisico, l'energia libera di Helmholtz e il significato delle variabili interne.

- Il modello costitutivo è un insieme di equazioni matematiche che descrivono il comportamento meccanico di un materiale. Da un punto di vista FISICO, il modello costitutivo descrive tramite le relazioni costitutive il comportamento di un materiale

(elastico lineare, elastoplastico, viscoelastico). Da un punto di vista MATEMATICO, introducendo le relazioni costitutive, pone rimedio all'eccesso di gradi di libertà permettendo di trovare una soluzione unica al problema meccanico.

- L'ENERGIA LIBERA DI HELMHOLTZ indica la porzione di energia accumulata in forma reversibile entro il materiale. Rappresenta l'energia potenziale totale del sistema, includendo sia l'energia interna che l'energia potenziale elastica.
- Le VARIABILI INTERNE descrivono l'evoluzione microstrutturale (cambiamenti microstrutturali irreversibili) del materiale in conseguenza alla storia deformativa. Rappresentano quantità fisiche che descrivono lo stato interno del materiale, come ad esempio la deformazione, lo sforzo o la temperatura. Vengono utilizzate per determinare l'energia libera di Helmholtz e quindi la risposta meccanica del materiale.

14) Spiegare il significato della disuguaglianza di Clausius-Duhem, in particolare energia libera di Helmholtz e i valori che può assumere e il significato di disuguaglianza dissipativa.

La DISUGUAGLIANZA DI CLAUSIUS-DUHEM è l'equivalente meccanico del secondo principio della termodinamica, afferma che la porzione di energia accumulata in forma reversibile entro il materiale non può superare il lavoro meccanico svolto per deformare il materiale stesso. L'ENERGIA LIBERA DI HELMHOLTZ esprime la porzione di energia (derivante dal lavoro delle tensioni) accumulata in forma reversibile (ri-utilizzabile per compiere lavoro meccanico) nel materiale, può assumere solo valori uguali o inferiori alla somma dei lavori svolti. In particolare, per la disuguaglianza di Clausius-Duhem, il rateo dell'energia libera di Helmholtz deve essere minore o uguale al lavoro svolto dalle forze interne. La DISUGUAGLIANZA DISSIPATIVA afferma che la dissipazione interna, ovvero la porzione irreversibilmente dissipata del lavoro meccanico svolto per deformare il materiale, deve essere positiva (materiali dissipativi) o nulla (materiali non dissipativi).

15) Spiegare il modello di Zener per i materiali viscoelastici e in particolare per prove di creep, stress relaxation e velocità di deformazione costante.

Il modello di Zener è costituito dal PARALLELO tra un ramo elastico con una molla di rigidezza pari alla rigidezza di equilibrio termodinamico e un ramo viscoelastico con una molla e un pistone collegati in serie.

- Per le prove di CREEP, il modello di Zener prevede che la deformazione del materiale aumenti nel tempo (fino a un limite superiore) in risposta alla tensione costante applicata. Inizialmente il comportamento è elastico (rigidezza istantanea), per poi dare inizio ai meccanismi tempo dipendenti viscosi che abbassano il modulo elastico apparente fino al valore di equilibrio (rigidezza di equilibrio termodinamico).
- Per le prove di STRESS RELAXATION, il modello di Zener prevede che la deformazione costante applicata causi una diminuzione della tensione nel tempo (fino a un limite inferiore). Se si impone istantaneamente una deformazione costante, inizialmente essa ricade esclusivamente sulle due molle (tensione rilassata nulla). Tuttavia, con il passare del tempo, la deformazione del ramo viscoso passa dalla molla al pistone (la tensione rilassata aumenta), mentre nel ramo elastico si mantiene costante. Quando tutta la deformazione del ramo viscoelastico si è trasferita nel pistone (tutta la tensione si è rilassata), si ha solo la tensione del ramo elastico (da cui deriva la rigidezza complessiva del sistema). Il modulo elastico apparente ha gli stessi limiti previsti dalle prove di creep, ma andamento diverso.

- Per le prove a VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE COSTANTE, il modello di Zener prevede una dipendenza del modulo apparente sia dalla velocità di deformazione che dalla deformazione stessa. All'aumentare della deformazione, a parità di velocità di deformazione, i meccanismi viscosi richiedono più tempo per svilupparsi e il modulo apparente diminuisce. Per velocità di deformazioni tendenti ad infinito la risposta è completamente elastica (rigidezza istantanea), mentre per velocità tendenti a zero la risposta è inizialmente completamente viscosa (rigidezza di equilibrio termodinamico) e successivamente elastica. A velocità intermedie il comportamento è intermedio.

16) Significato fisico di K_{Ic} (elastofragilità).

K_{Ic} rappresenta la TENACITÀ del materiale, ovvero la sua capacità di innescare dei meccanismi di accumulo energetico (meccanismi che incrementano l'energia necessaria per la formazione di nuove superfici) in grado di opporsi alla propagazione della cricca. Il suo valore è direttamente proporzionale alla tensione di rottura, la quale è inoltre inversamente proporzionale alla dimensione della cricca. Se l'intensità complessiva K_I del campo di tensione presente nell'intorno dell'apice di cricca è superiore a K_{Ic} , si ha la propagazione della cricca.

17) Descrizione del comportamento di un materiale sollecitato: reversibilità ed energia.

Quando un materiale viene sollecitato, l'ENERGIA fornita dal lavoro delle tensioni viene sfruttata per lo sviluppo dei meccanismi di deformazione. Infatti, nel passaggio dalla configurazione indeformata alla configurazione deformata, la microstruttura viene modificata e dalla condizione iniziale di minimo energetico si porta in una condizione di energia superiore. I meccanismi di deformazione sviluppati sono REVERSIBILI se, una volta rimosso lo stimolo, possono essere recuperati e la configurazione microstrutturale ritorna al suo stato originale. I meccanismi possono inoltre accumulare tutta l'energia fornita dal lavoro delle tensioni nella forma dell'energia libera di Helmholtz (meccanismi non dissipativi) oppure dissiparla (meccanismi dissipativi).

DOMANDE APERTE (TODROS)

1) Comportamento di un materiale polimerico sollecitato a trazione.

I materiali polimerici con struttura lineare, sollecitati a trazione hanno un comportamento VISCOELASTICO. I materiali polimerici con struttura ramificata (termoplastici), invece, sollecitati a trazione mostrano un comportamento ELASTOPLASTICO. I materiali polimerici reticolari hanno comportamento ELASTOFRAGILE se sono molto reticolati (termoindurenti) e ALTAMENTE ELASTICO se sono poco reticolati (elastomeri). Inoltre, la VISCOELASTICITÀ è una delle proprietà fondamentali dei materiali polimerici (poco reticolati o termoplastici oltre la temperatura di transizione vetrosa), per cui il comportamento meccanico dipende dal tempo.

2) Comportamento di un materiale metallico sottoposto a trazione.

In generale, i materiali metallici sottoposti a trazione presentano un comportamento ELASTOPLASTICO. Inizialmente seguono un comportamento elastico, in cui la deformazione è proporzionale allo sforzo applicato ed è completamente reversibile. Raggiunta la tensione di snervamento le deformazioni diventano irreversibili e, se il materiale ha un comportamento elastoplastico PERFETTO, aumentano a tensione costante fino al limite di rottura. Se il materiale presenta comportamento elastoplastico INCRUDENTE, invece, la tensione di snervamento aumenta permanentemente a causa del processo di incrudimento (aumento delle dislocazioni).

In generale, i materiali metallici sottoposti a trazione presentano un comportamento elastoplastico. Esibiscono comportamento elastico fino al raggiungimento della tensione di snervamento, superata la quale presentano comportamento plastico. La deformazione plastica può avvenire mediante due possibili meccanismi, scorrimento (più comune) o germinazione. Lo SCORRIMENTO consiste nel movimento parallelo di strati di materiale in un cristallo. La deformazione ha luogo lungo piani cristallografici paralleli e adiacenti, che costituiscono i piani di scorrimento, e provoca dei gradini di scorrimento. Si ha scorrimento quando la direzione di trazione non è perpendicolare al piano di scorrimento. La GERMINAZIONE consiste nella traslazione dei piani parallelamente gli uni sugli altri di una quantità proporzionale alla distanza dal piano di germinazione. In questo modo, il cristallo deformato diventa simmetrico del cristallo non deformato rispetto al piano di germinazione. Questa deformazione consente la formazione di nuovi sistemi di scorrimento, favorendo quindi la deformazione per scorrimento.

3) Meccanismi di deformazione dei materiali ceramici a carattere prevalentemente covalente, con particolare riferimento all'effetto della tipologia di legame chimico sulle proprietà meccaniche.

I materiali ceramici a carattere prevalentemente covalente tendono ad avere un comportamento elastofragile. Poiché il legame covalente tra gli atomi ha una direzione e una lunghezza specifiche, quando i cristalli covalenti vengono sollecitati sufficientemente i legami si separano senza riformarsi provocando una FRATTURA FRAGILE. Inoltre, l'energia necessaria a far avvenire lo scorrimento delle dislocazioni è molto elevata a causa della natura direzionale del legame chimico. Di conseguenza, energie sufficienti al movimento delle dislocazioni sono generalmente superiori alle tensioni necessarie alla FRATTURA FRAGILE.

4) **Meccanismo di deformazione dei materiali ceramici a carattere prevalentemente ionico, con particolare riferimento all'effetto della tipologia di legame chimico sulle proprietà meccaniche.**

Nei materiali ceramici a carattere prevalentemente ionico è sufficiente una piccola deformazione di taglio per far scorrere i piani reticolari e generare una repulsione fra ioni di uguale carica che provoca FRATTURA FRAGILE del cristallo (cleavage). Tuttavia, esistono sistemi di scorrimento che coinvolgono solo ioni di carica diversa e, di conseguenza, durante lo scorrimento mantengono i piani cristallini legati tra loro tramite forze attrattive favorendo la DEFORMAZIONE PLASTICA.

In caso di sollecitazioni a compressione a temperatura ambiente, invece, i monocristalli mostrano una considerevole DEFORMAZIONE PLASTICA. Infatti, una sollecitazione di compressione tende a chiudere cricche e porosità impedendone la propagazione.

5) **Meccanismi di deformazione nei materiali polimerici viscoelastici.**

A livello molecolare, nei materiali polimerici viscoelastici possono avvenire diversi meccanismi di deformazione:

- FLUSSO VISCOSO, causato da catene polimeriche che si muovono l'una sull'altra
- RILASSAMENTO MOLECOLARE, causato dalla rotazione dei legami
- DISENTANGLEMENT, consiste nello scioglimento delle reticolazioni fisiche o nello scorrimento delle catene polimeriche rispetto al punto di reticolazione
- SCAMBIO DI LEGAMI INTRAMOLECOLARI, consiste nella simultanea rottura di legami in catene parallele alla direzione di sollecitazione e formazione di nuovi legami tra gli spezzoni di catena
- SCISSIONE DELLA CATENA MOLECOLARE, consiste nella rottura delle catene che sostengono il carico

6) **Ruolo delle dislocazioni in un processo deformativo nei metalli.**

Le dislocazioni hanno un ruolo fondamentale nella deformazione plastica dei metalli sollecitati. Poiché le posizioni del reticolo cristallino sono occupate tutte dallo stesso tipo di atomo e i legami coinvolti nel legame sono fortemente delocalizzati, nei metalli il MOVIMENTO DELLA DISLOCAZIONE richiede forze enormemente inferiori rispetto a quelle necessarie allo scorrimento dell'intero piano atomico. Pertanto le dislocazioni facilitano il comportamento plastico dei metalli. In particolare, a causa delle dislocazioni, durante la deformazione plastica gli atomi del piano si spostano uno dopo l'altro (non contemporaneamente) e di una distanza inferiore alla distanza atomica. Tuttavia, ad alte concentrazioni di dislocazioni (rafforzamento per incrudimento), le dislocazioni interagiscono tra di loro bloccandosi a vicenda. Di conseguenza la duttilità del materiale si riduce.

7) **Ruolo delle reticolazioni nei materiali elastomerici.**

I materiali elastomerici sono caratterizzati da una moderata presenza di reticolazioni, che ne garantiscono il comportamento elastico. Le reticolazioni permettono, una volta rimosso lo sforzo, il completo recupero della deformazione. Negli elastomeri deformati a trazione, le catene (inizialmente nello stato di gomito statistico) si allungano causando un allontanamento reciproco dei punti di reticolazione. Di conseguenza si ha DIMINUIZIONE DI ENTROPIA che, una volta rimosso lo sforzo, porta il sistema a tornare allo stato iniziale.

Tuttavia, la presenza eccessiva di reticolazioni causa un aumento della rigidità e un comportamento fragile.

8) **Spiegare il procedimento di un processo di rafforzamento dei metalli a piacere, in particolare l'effetto sul comportamento elastoplastico.**

- L'INCRUDIMENTO è un processo di rafforzamento a freddo dei metalli tramite deformazione plastica che causa un aumento significativo delle dislocazioni, tale da sfavorirne la mobilità (pinning) e quindi diminuire la duttilità del metallo. Questo rafforzamento riduce quindi la plasticità del materiale, rendendolo più rigido e aumentando la sua capacità di sopportare carichi senza deformarsi permanentemente. Può avvenire per laminazione a freddo, un processo per deformazione plastica nel quale si riduce la sezione trasversale con un conseguente allungamento e deformazione dei grani cristallini. Siccome questo processo diminuisce la duttilità del metallo, le fasi di deformazione a freddo vengono alternate a trattamenti termici a bassa temperatura (annealing) che permettono ricristallizzare il metallo con cristalli di dimensioni minori.
- La RIDUZIONE DELLE DIMENSIONI DEI GRANI è un processo che comporta un incremento dei bordi di grano. Questi agiscono come una barriera al movimento delle dislocazioni, perché le dislocazioni devono cambiare direzione di scorrimento per passare da un grano all'altro e la disposizione disordinata degli atomi nella regione del bordo di grano crea una discontinuità nello scorrimento. Di conseguenza è necessaria maggiore energia per l'inizio delle deformazioni plastiche, ovvero la tensione di snervamento del metallo incrementa.
- Il RAFFORZAMENTO PER SOLUZIONE SOLIDA consiste nell'aggiunta di uno o più elementi ad un metallo per aumentarne la resistenza meccanica. In soluzione solida, ogni atomo più grande o più piccolo di quello del solvente crea nel reticolo cristallino della matrice un campo di deformazioni che rendono più difficile il movimento delle dislocazioni.
- Il RAFFORZAMENTO PER PRECIPITAZIONE è un processo che porta alla formazione di precipitati estremamente fini che bloccano le dislocazioni. Consiste in un insieme di trattamenti, quali solubilizzazione, tempra e invecchiamento. L'effetto del rinforzo è massimo quando i precipitati sono molto fini e coerenti con la matrice, perché generano un forte campo di deformazioni che ostacola efficacemente il moto delle dislocazioni. Le dislocazioni che, nel loro scorrimento causato da uno sforzo di taglio, incontrano dei precipitati possono tagliarli o piegarsi attorno. Il maggior rafforzamento si ottiene con precipitati sufficientemente grandi da resistere al taglio e sufficientemente vicini da impedire il piegarsi delle dislocazioni.

9) **Analisi dinamico meccanica: finalità e principi.**

L'analisi DMA è una tecnica di caratterizzazione delle proprietà viscoelastiche di un materiale analizzandone le risposte meccaniche a diverse frequenze di sollecitazione. In un'analisi DMA si impone una deformazione che avviene a frequenze variabili o ad una deformazione con frequenza costante e T variabile.

10) **Vantaggi dei materiali compositi fibro-rinforzati.**

I materiali compositi fibro-rinforzati sono vantaggiosi perché permettono di combinare le proprietà meccaniche di materiali diversi e di ottenere, grazie all'EFFETTO SINERGICO, proprietà aggiuntive che le singole fasi costituenti non presentano. Inoltre, le fibre

possiedono elevata resistenza meccanica specifica, elevato modulo elastico specifico e comportamento elastico fino alla rottura. All'aumentare della frazione volumetrica, la rigidità del materiale e la sua tensione di rottura nella direzione longitudinale incrementano.

11) Rafforzamento dei metalli.

Il rafforzamento dei metalli avviene tramite TRATTAMENTI che permettono di modificarne la resistenza meccanica e i processi che avvengono tra lo snervamento e la rottura. La riduzione della mobilità delle dislocazioni comporta un aumento della tensione di snervamento e della resistenza, però a discapito di una diminuzione della duttilità del metallo. A seconda del tipo di metodo, il rafforzamento può avvenire per deformazione (incrudimento o riduzione delle dimensioni dei grani), soluzione solida o precipitazione.

12) Equivalenza tempo/temperatura polimerici.

In una prova DMA è possibile variare la temperatura di esecuzione di una prova al fine di ottenere risposte del materiale che avverrebbero o troppo velocemente o troppo lentamente. L'equazione di Williams, Landel e Ferry lega il fattore di traslazione da tempo a Temperatura. Questo fattore corrisponde alla traslazione nel tempo che dovrebbe essere applicata alla curva ricavata alla temperatura T per farne un'analisi alla T di riferimento (normalmente T_g).

13) Assunzioni per trovare modulo elastico longitudinale nei fibro-rinforzati.

Per trovare il modulo elastico longitudinale, si assume:

- FIBRE lunghe continue caratterizzate da diametro costante ed allineate tutte lungo la medesima direzione longitudinale
- COMPORTAMENTO elastico lineare sia delle fibre che della matrice
- INTERFACCIA fibre-matrice perfetta
- POROSITÀ assente o comunque trascurabile

14) Assunzioni isosforzo e isodeformazione materiali compositi.

Nella condizione di isodeformazione le fibre e la matrice si deformano allo stesso modo. Nell'isosforzo il materiale vede le fasi soggette alla stessa tensione ma possono avere deformazioni diverse.

15) Qual è l'effetto della tipologia di legame chimico sulle proprietà meccaniche dei materiali ceramici?

Nei materiali ceramici con legami IONICI sono sufficienti piccole deformazioni di taglio per generare una repulsione fra ioni di uguale carica che provoca frattura fragile del cristallo. Tuttavia, esistono sistemi di scorrimento che coinvolgono solo ioni di carica diversa e, di conseguenza, favoriscono la duttilità (deformazione plastica). Inoltre, in caso di sollecitazioni a compressione a temperatura ambiente, i cristalli ionici mostrano una considerevole duttilità.

I materiali ceramici con legami COVALENTI FORTI, invece, mostrano una maggiore resistenza e durezza. Quando i cristalli covalenti vengono sollecitati sufficientemente, i legami si separano senza riformarsi provocando una frattura fragile.