

Viene di seguito presentata un'animazione che “dovrebbe” o “vorrebbe” spiegare come nasce un diagramma di stato o di equilibrio. Per comprendere il tutto è bene seguire le istruzioni. I pulsanti riportano o alla prima pagina o all'ultima diapositiva visualizzata oppure eseguono quanto è scritto. Si è avvisati quando termina la diapositiva.

Gli esempi in considerazione sono: una lega formata da elementi A e B, non allotropici, completamente solubili sia in campo liquido sia in campo solido [PRIMO CASO] ed un'altra formata da elementi A e B, non allotropici, completamente solubili in campo liquido ma completamente insolubili in campo solido e senza formazione di eutettico [SECONDO CASO].

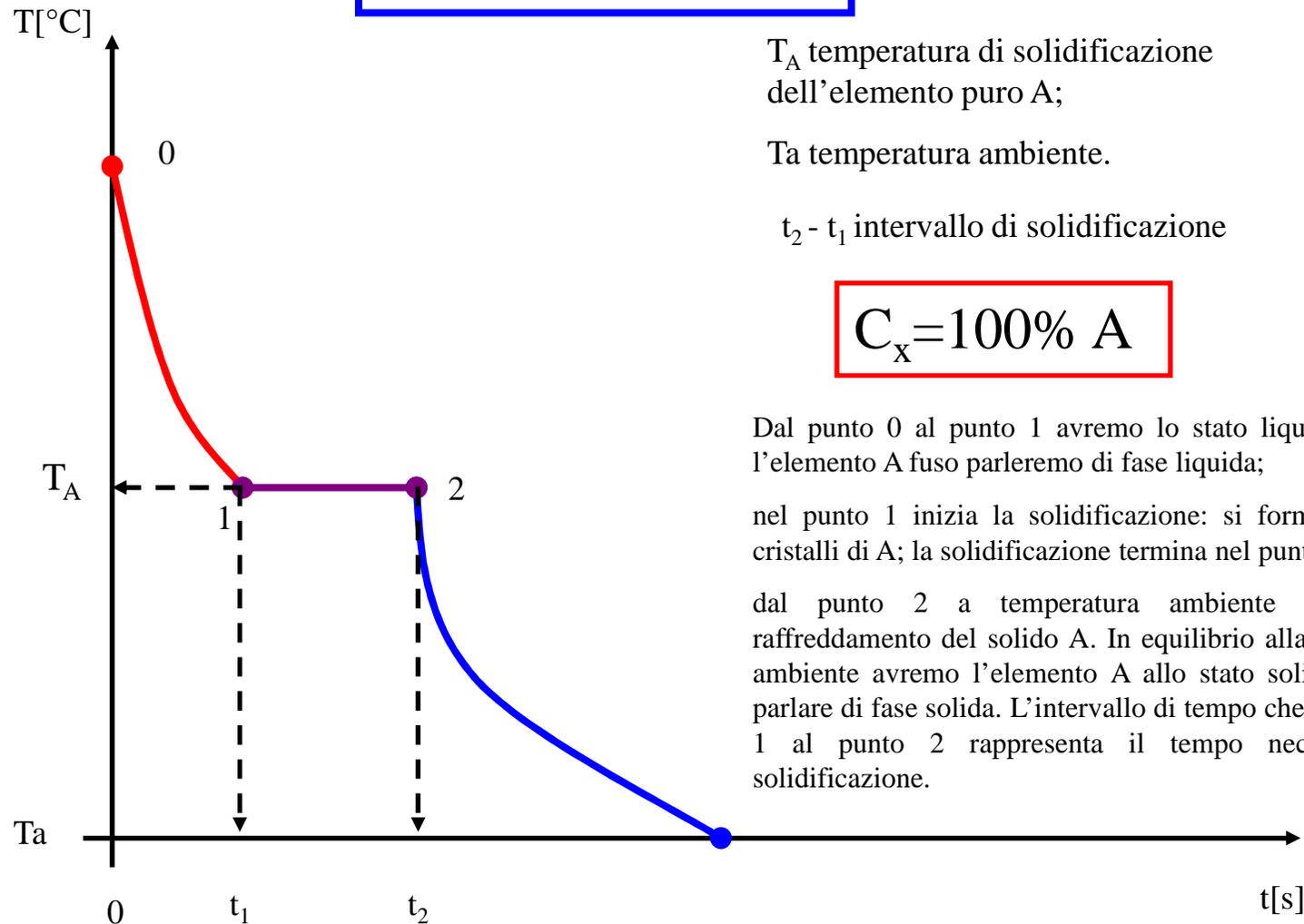
Le curve di raffreddamento sono costruite con condizioni al contorno costanti: l'unica variabile è la concentrazione (la generica concentrazione viene indicata con C_x) della lega binaria.

Ipotesi fondamentale: il raffreddamento viene effettuato lentamente in modo da garantire l'equilibrio nella massa: in ogni punto, nello stesso istante, vi è la medesima temperatura.

Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

PRIMO CASO



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

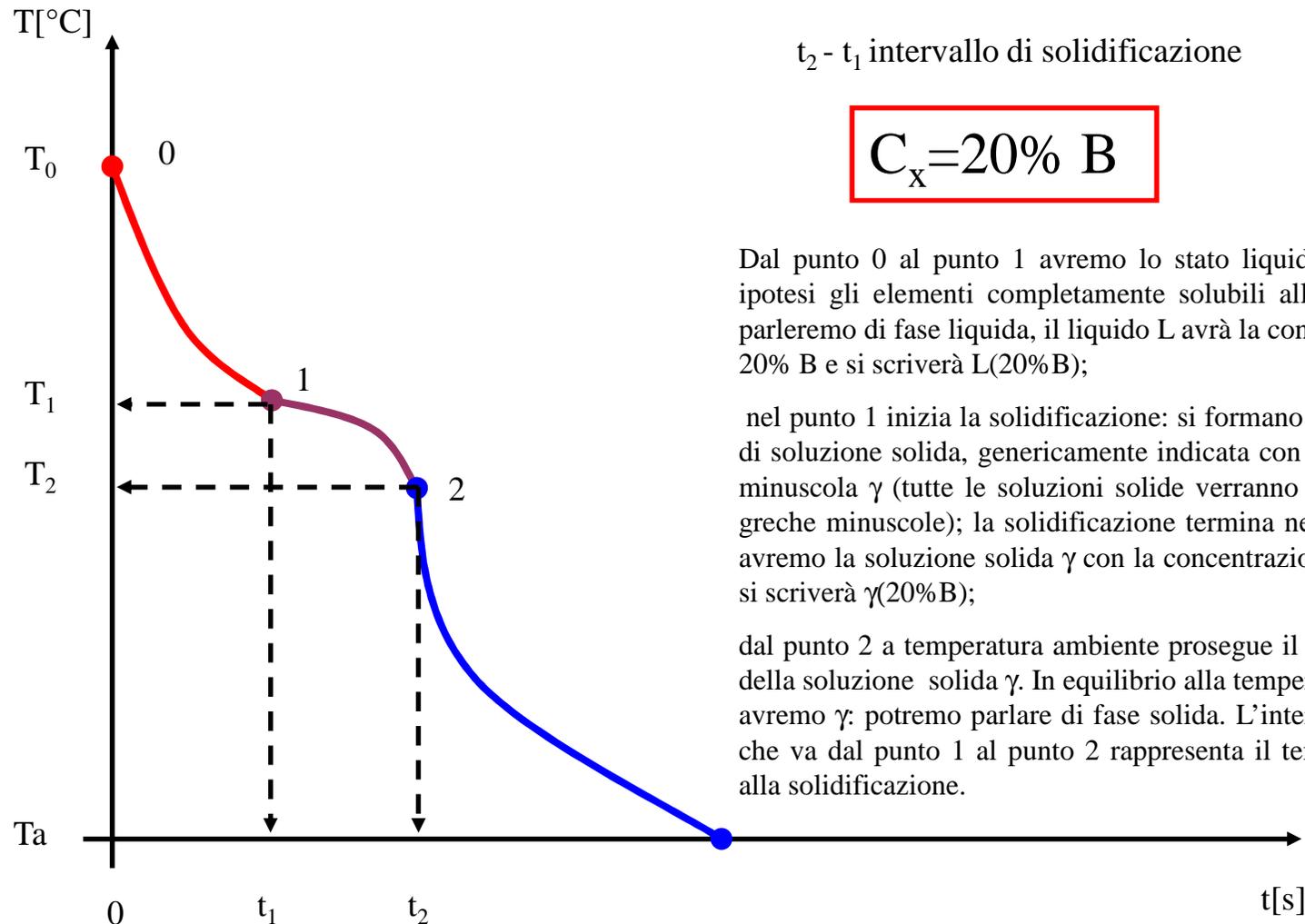
fine diapositiva

T_1 temperatura di inizio solidificazione;

T_2 temperatura di fine solidificazione.

$t_2 - t_1$ intervallo di solidificazione

$$C_x = 20\% B$$



Dal punto 0 al punto 1 avremo lo stato liquido: essendo per ipotesi gli elementi completamente solubili allo stato liquido parleremo di fase liquida, il liquido L avrà la concentrazione del 20% B e si scriverà $L(20\%B)$;

nel punto 1 inizia la solidificazione: si formano i primi cristalli di soluzione solida, genericamente indicata con la lettera greca minuscola γ (tutte le soluzioni solide verranno indicate lettere greche minuscole); la solidificazione termina nel punto 2 dove avremo la soluzione solida γ con la concentrazione del 20% B e si scriverà $\gamma(20\%B)$;

dal punto 2 a temperatura ambiente prosegue il raffreddamento della soluzione solida γ . In equilibrio alla temperatura ambiente avremo γ : potremo parlare di fase solida. L'intervallo di tempo che va dal punto 1 al punto 2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione.



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

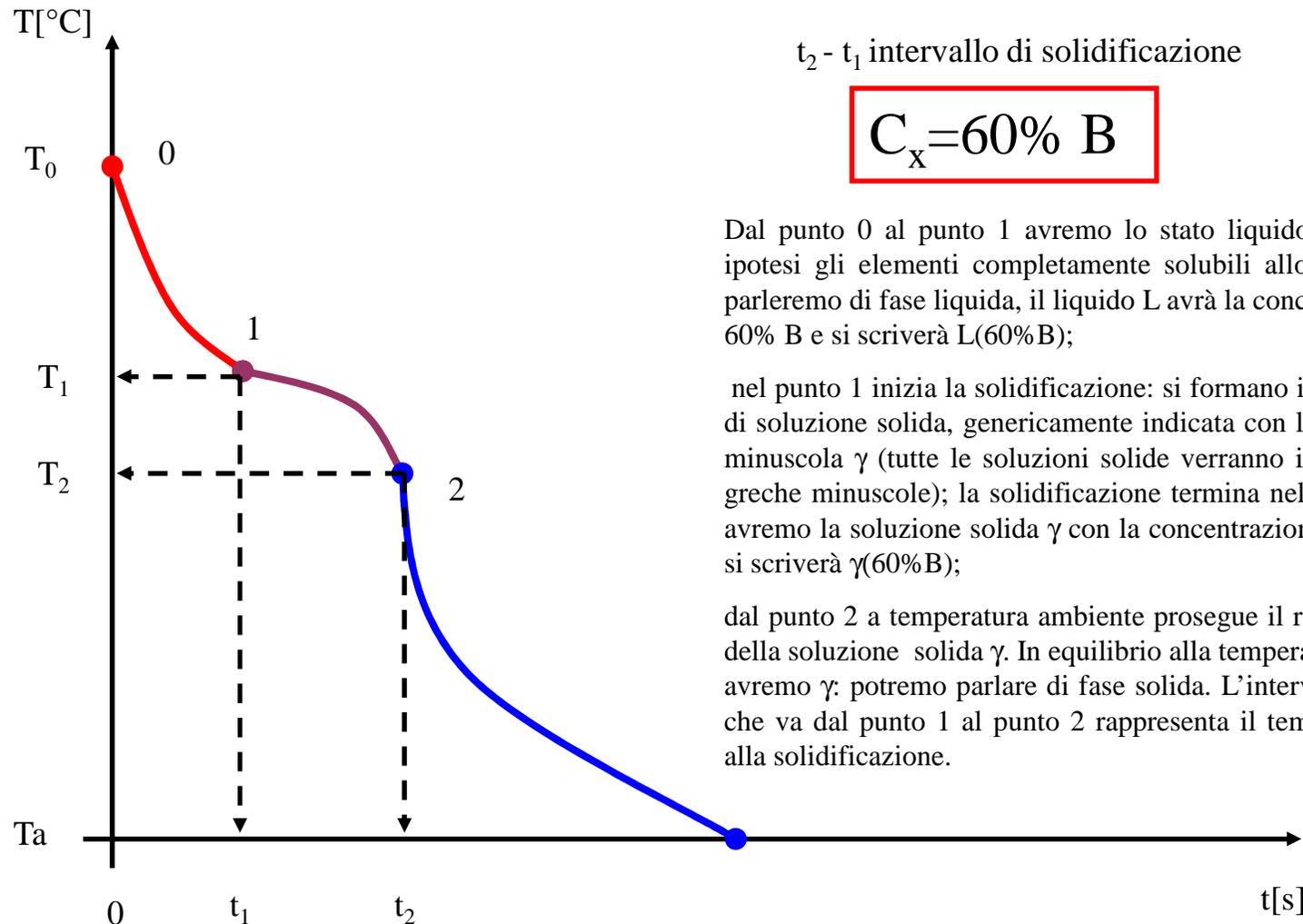
fine diapositiva

T_1 temperatura di inizio solidificazione;

T_2 temperatura di fine solidificazione.

$t_2 - t_1$ intervallo di solidificazione

$$C_x = 60\% B$$



Dal punto 0 al punto 1 avremo lo stato liquido: essendo per ipotesi gli elementi completamente solubili allo stato liquido parleremo di fase liquida, il liquido L avrà la concentrazione del 60% B e si scriverà $L(60\%B)$;

nel punto 1 inizia la solidificazione: si formano i primi cristalli di soluzione solida, genericamente indicata con la lettera greca minuscola γ (tutte le soluzioni solide verranno indicate lettere greche minuscole); la solidificazione termina nel punto 2 dove avremo la soluzione solida γ con la concentrazione del 60% B e si scriverà $\gamma(60\%B)$;

dal punto 2 a temperatura ambiente prosegue il raffreddamento della soluzione solida γ . In equilibrio alla temperatura ambiente avremo γ : potremo parlare di fase solida. L'intervallo di tempo che va dal punto 1 al punto 2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione.



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

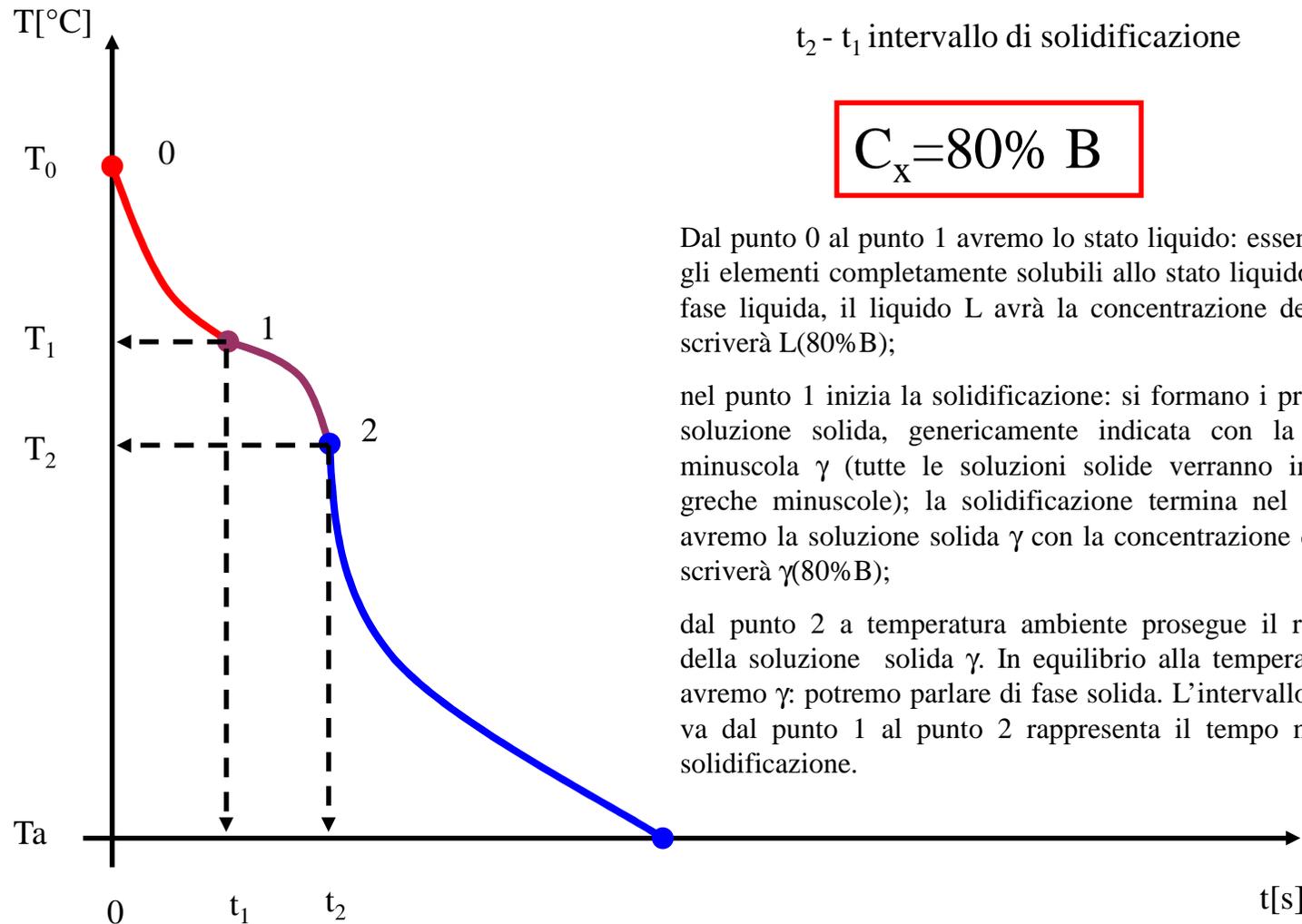
fine diapositiva

T_1 temperatura di inizio solidificazione;

T_2 temperatura di fine solidificazione.

$t_2 - t_1$ intervallo di solidificazione

$$C_x = 80\% B$$



Dal punto 0 al punto 1 avremo lo stato liquido: essendo per ipotesi gli elementi completamente solubili allo stato liquido parleremo di fase liquida, il liquido L avrà la concentrazione del 80% B e si scriverà L(80%B);

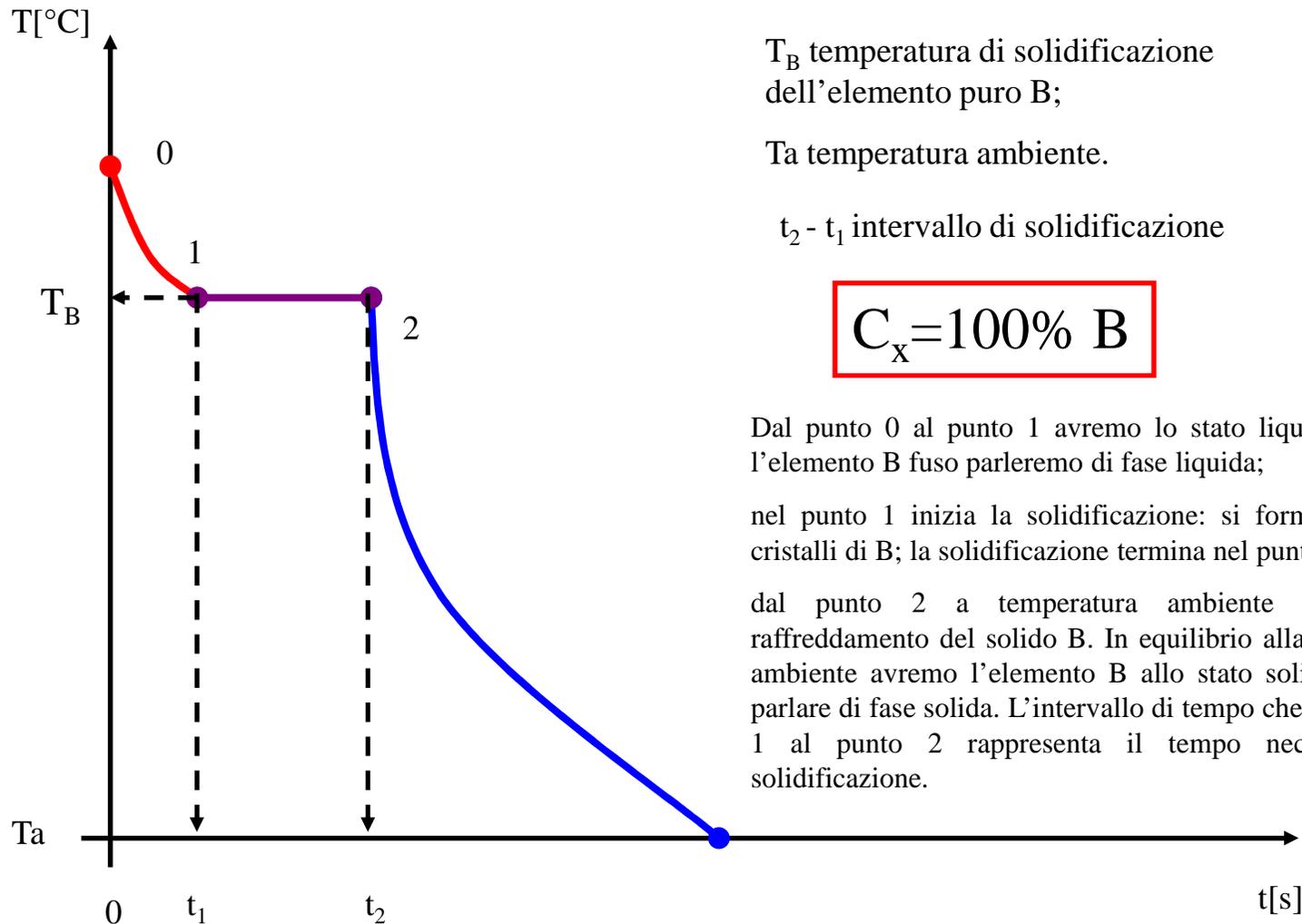
nel punto 1 inizia la solidificazione: si formano i primi cristalli di soluzione solida, genericamente indicata con la lettera greca minuscola γ (tutte le soluzioni solide verranno indicate lettere greche minuscole); la solidificazione termina nel punto 2 dove avremo la soluzione solida γ con la concentrazione del 80%B e si scriverà $\gamma(80\%B)$;

dal punto 2 a temperatura ambiente prosegue il raffreddamento della soluzione solida γ . In equilibrio alla temperatura ambiente avremo γ : potremo parlare di fase solida. L'intervallo di tempo che va dal punto 1 al punto 2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione.



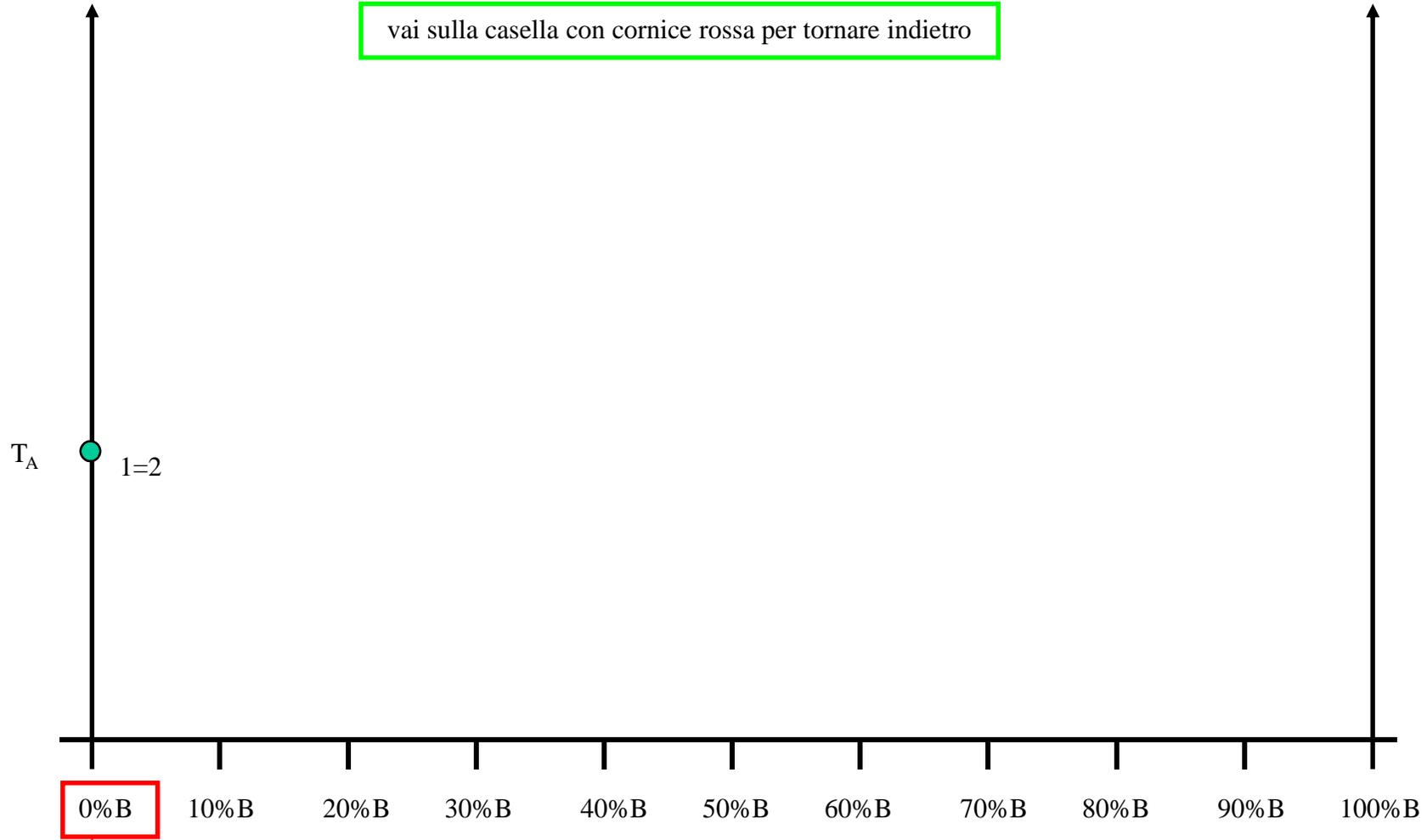
Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

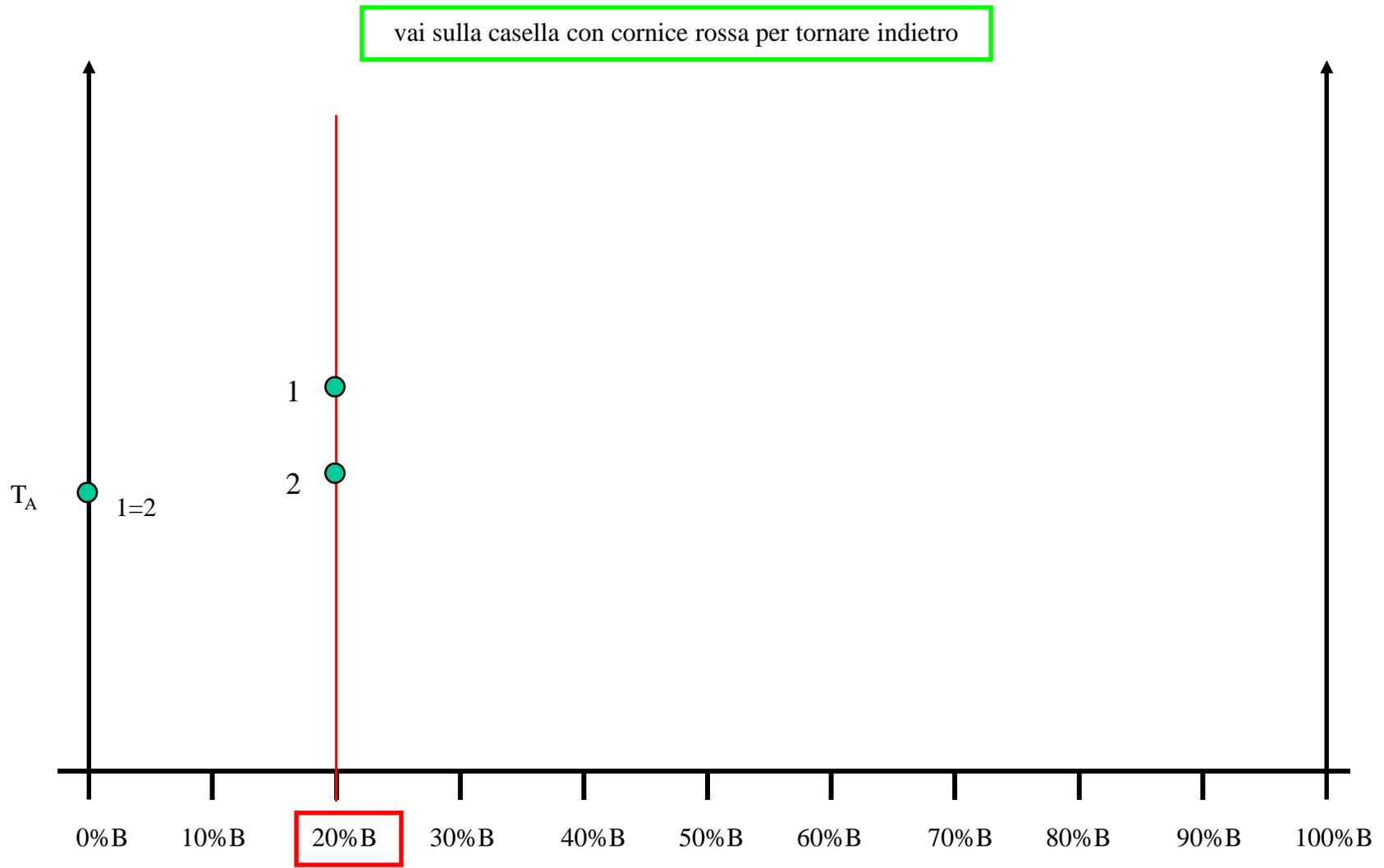
fine diapositiva



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

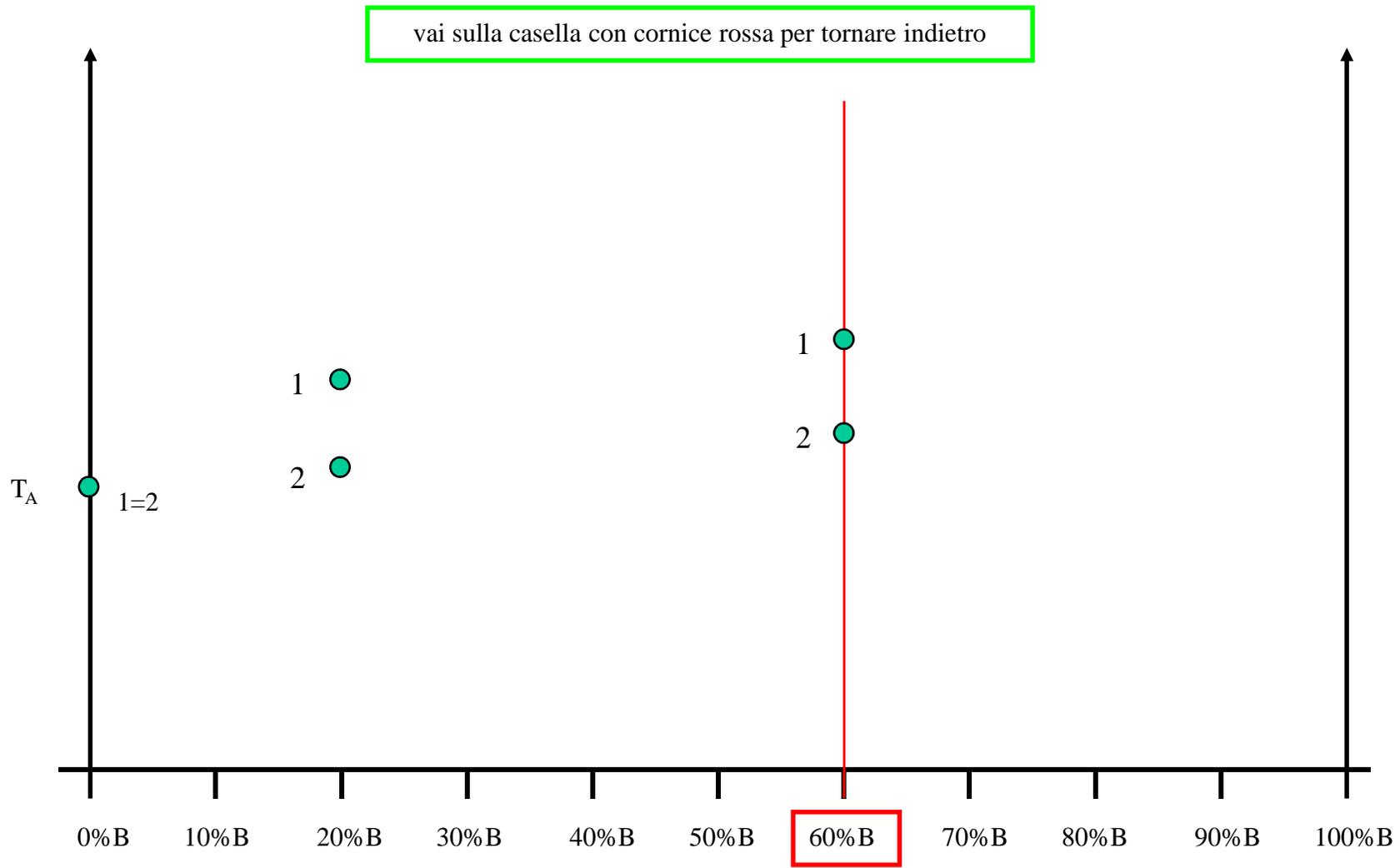
fine diapositiva





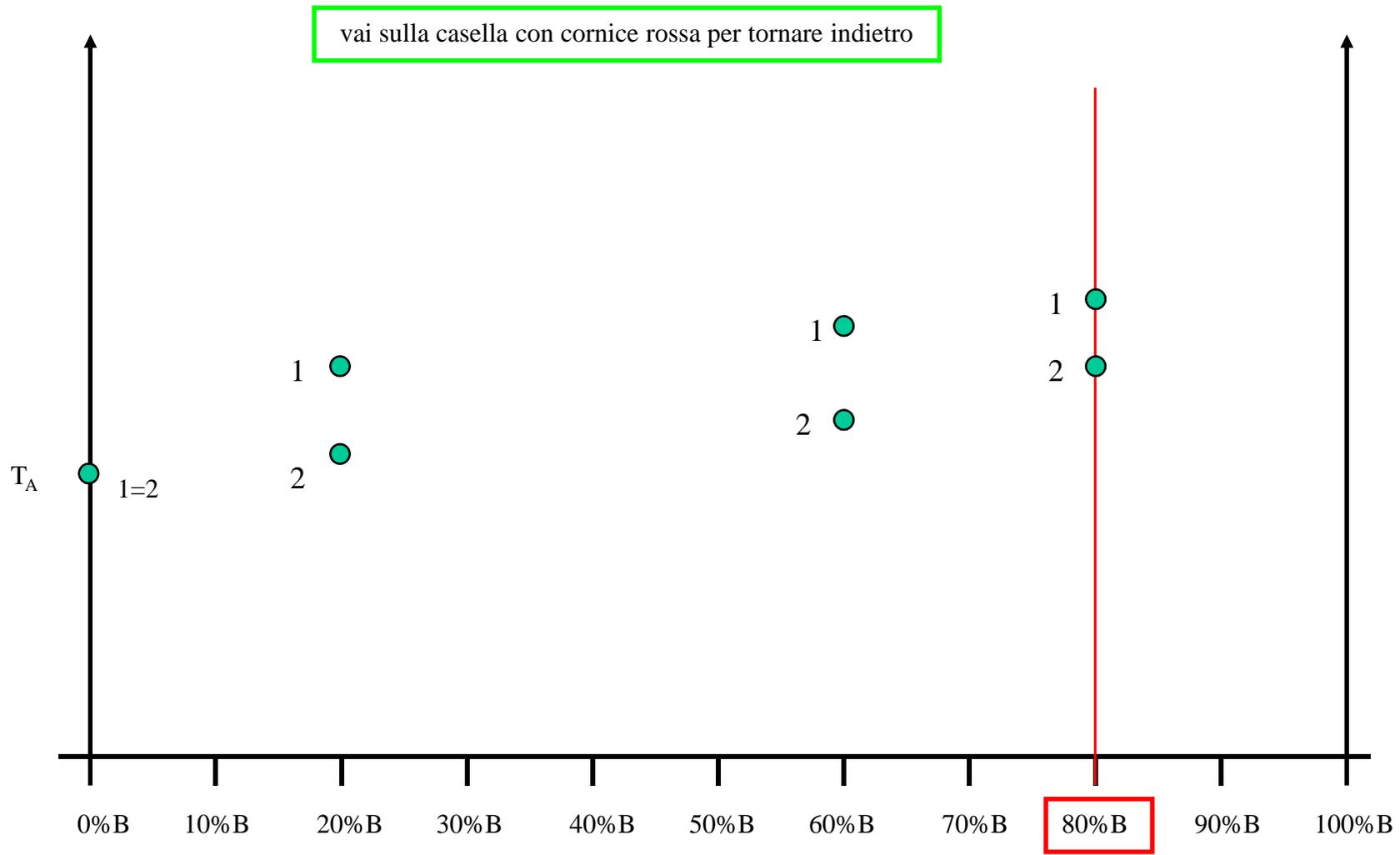
Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva



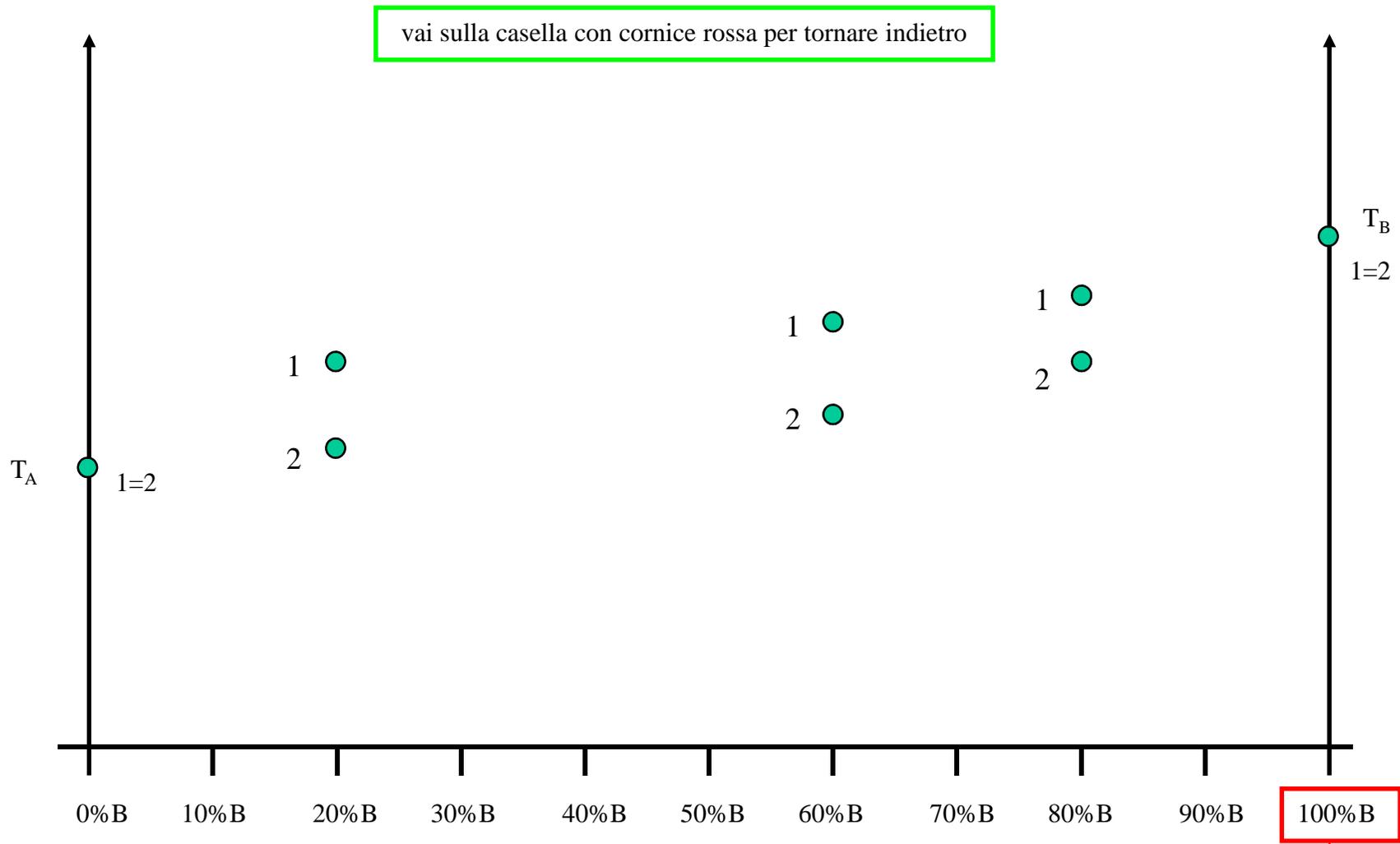
Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva



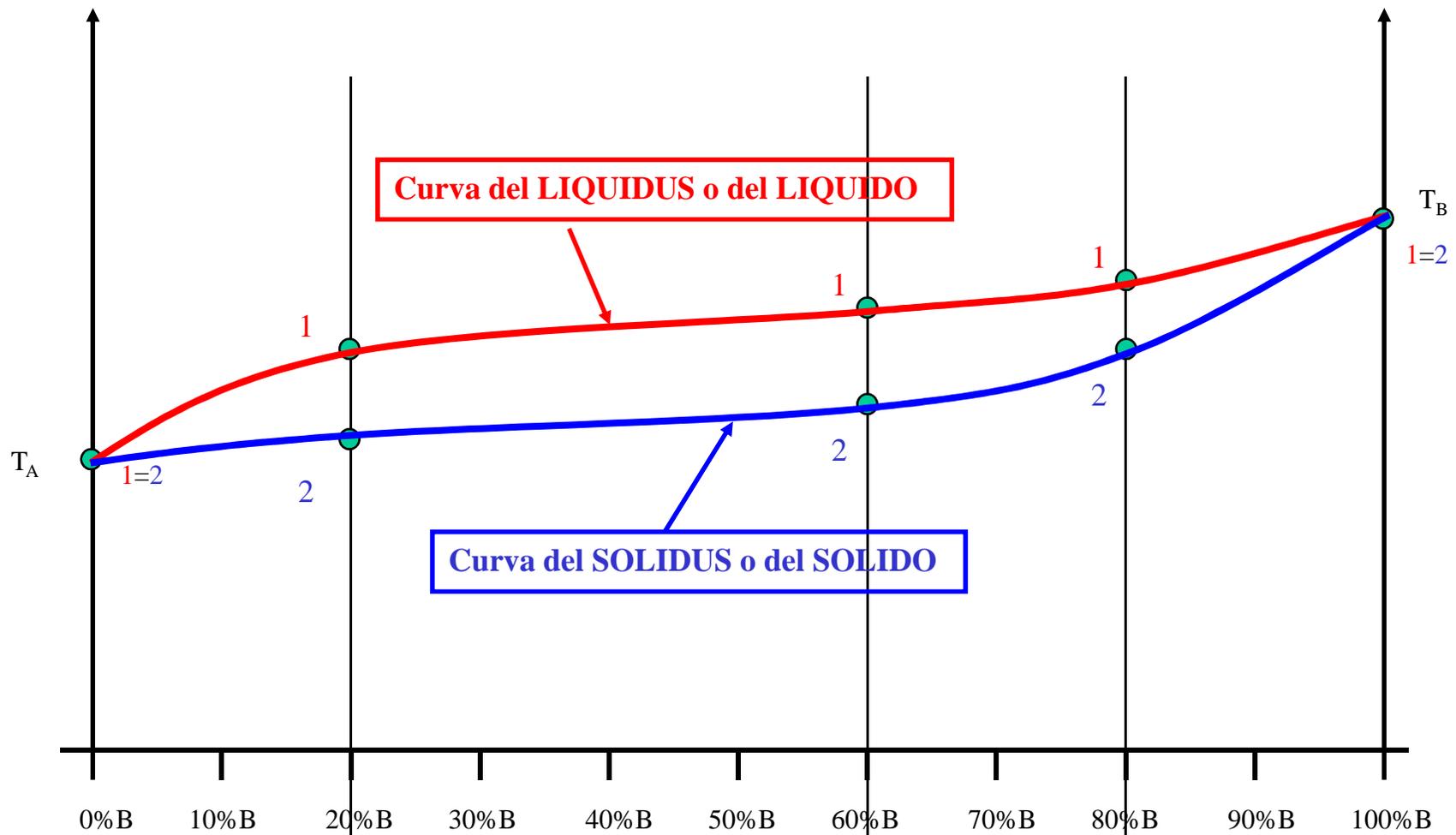
Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva



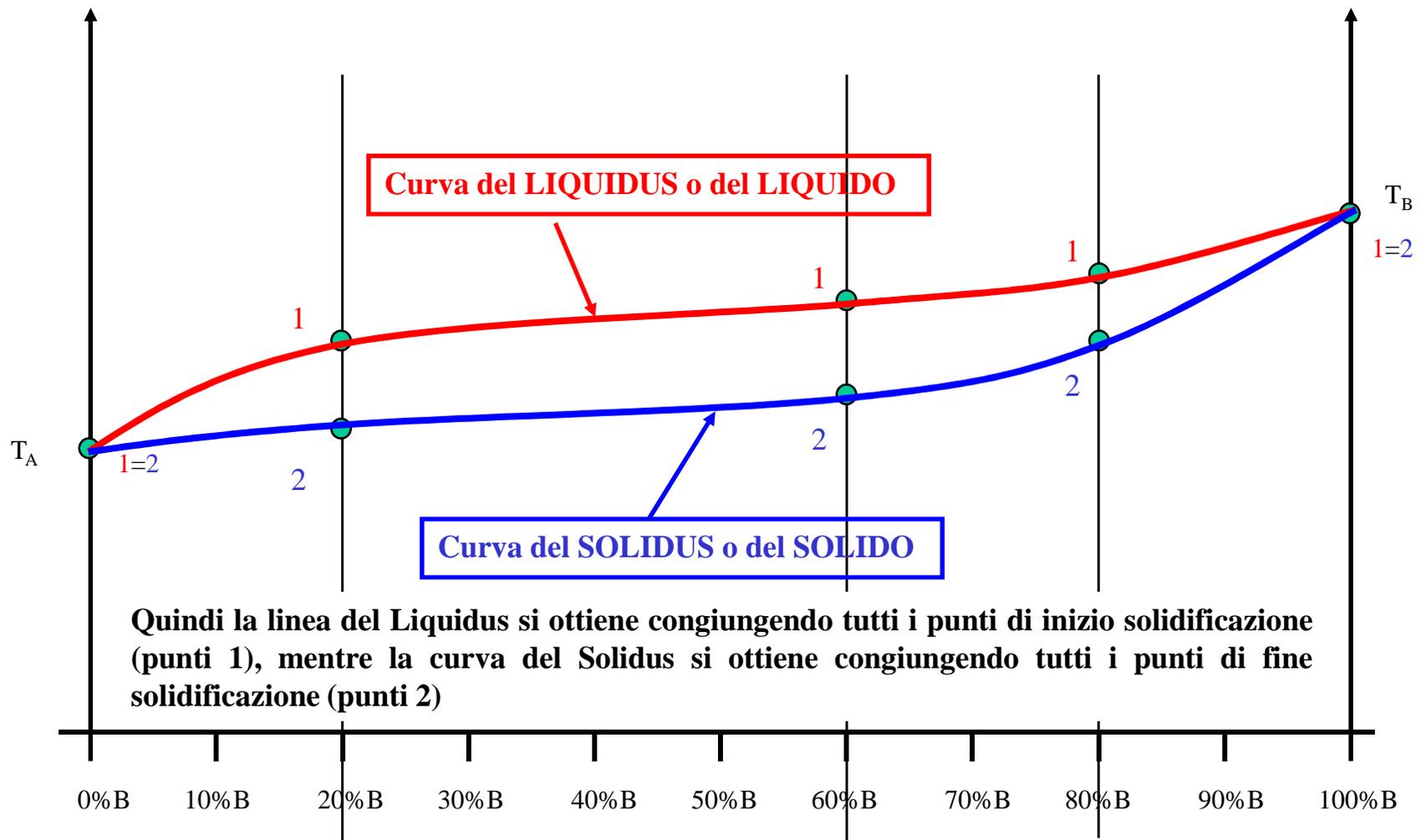
Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva



Quindi la linea del Liquidus si ottiene congiungendo tutti i punti di inizio solidificazione (punti 1), mentre la curva del Solidus si ottiene congiungendo tutti i punti di fine solidificazione (punti 2)



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

CONSIDERAZIONI

Quindi il diagramma di equilibrio si ottiene congiungendo i punti omologhi (tutti i punti, temperature critiche, che presentano lo stesso fenomeno chimico-fisico: tutti i punti di inizio solidificazione, tutti i punti di fine solidificazione, tutti i punti di inizio saturazione, tutti i punti di inizio formazione eutettico, tutti i punti di fine formazione eutettico,...) ottenuti sulle curve di raffreddamento alle varie concentrazioni. [NB. Si può passare dal piano (t,T), tempo temperatura, al piano (C%,T), concentrazione percentuale temperatura, perché i raffreddamenti sono ottenuti per via quasi statica.

Il diagramma di equilibrio rappresenta dunque una specie di cartina geografica in cui le curve critiche rappresentano i confini di esistenza e/o coesistenza delle varie fasi e/o strutture in equilibrio alle varie temperature per le varie concentrazioni.

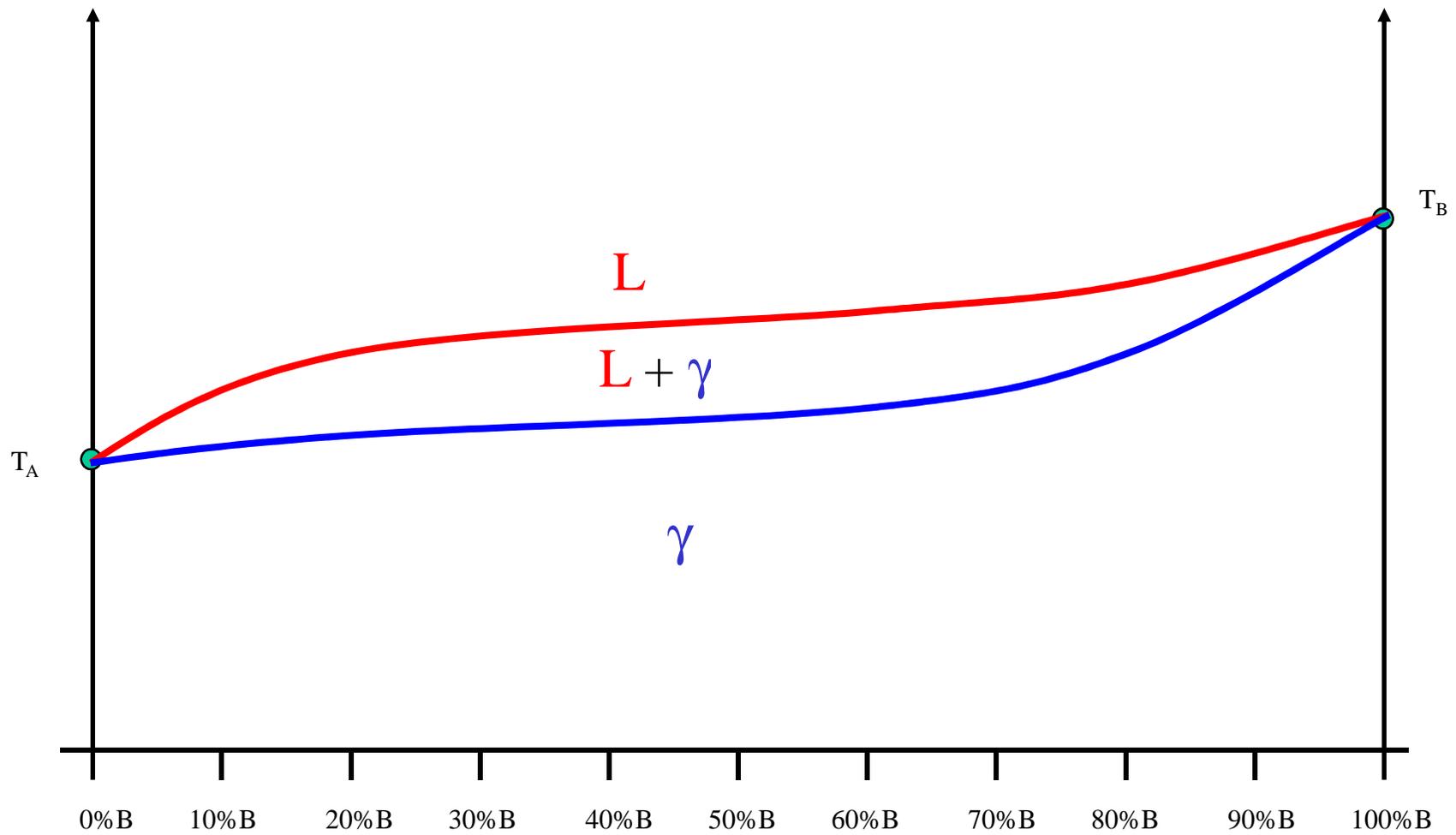
FASE: omogeneo; STRUTTURA: fase o insieme di più fasi; dunque una struttura può essere eterogenea.

Nel caso appena studiato le fasi e le strutture coincidono.

Premi barra spaziatrice per proseguire



fine diapositiva



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

Per “leggere” un diagramma di stato è necessario compiere i seguenti passi:

1. determinare la concentrazione C_x della lega che si desidera analizzare;
2. tracciare la parallela all’asse delle temperature che passa per la C_x determinata;
3. individuare le intersezioni di questa parallela con le linee del diagramma e partendo da un punto nel campo del liquido indicato con 0, enumerare di seguito le intersezioni trovate;
4. tracciare qualitativamente la curva di raffreddamento nel piano cartesiano t, T rammentando che “curva” chiama “curva” e che “isoterma” chiama “isoterma”;
5. collocare le fasi e/o le strutture incontrate a partire dallo stato completamente liquido e quando si incontrano campi di coesistenza tracciare segmenti paralleli all’asse delle ascisse (isoterme) fino ad incontrare il confine (le linee del diagramma) “guardando a destra e a sinistra”.

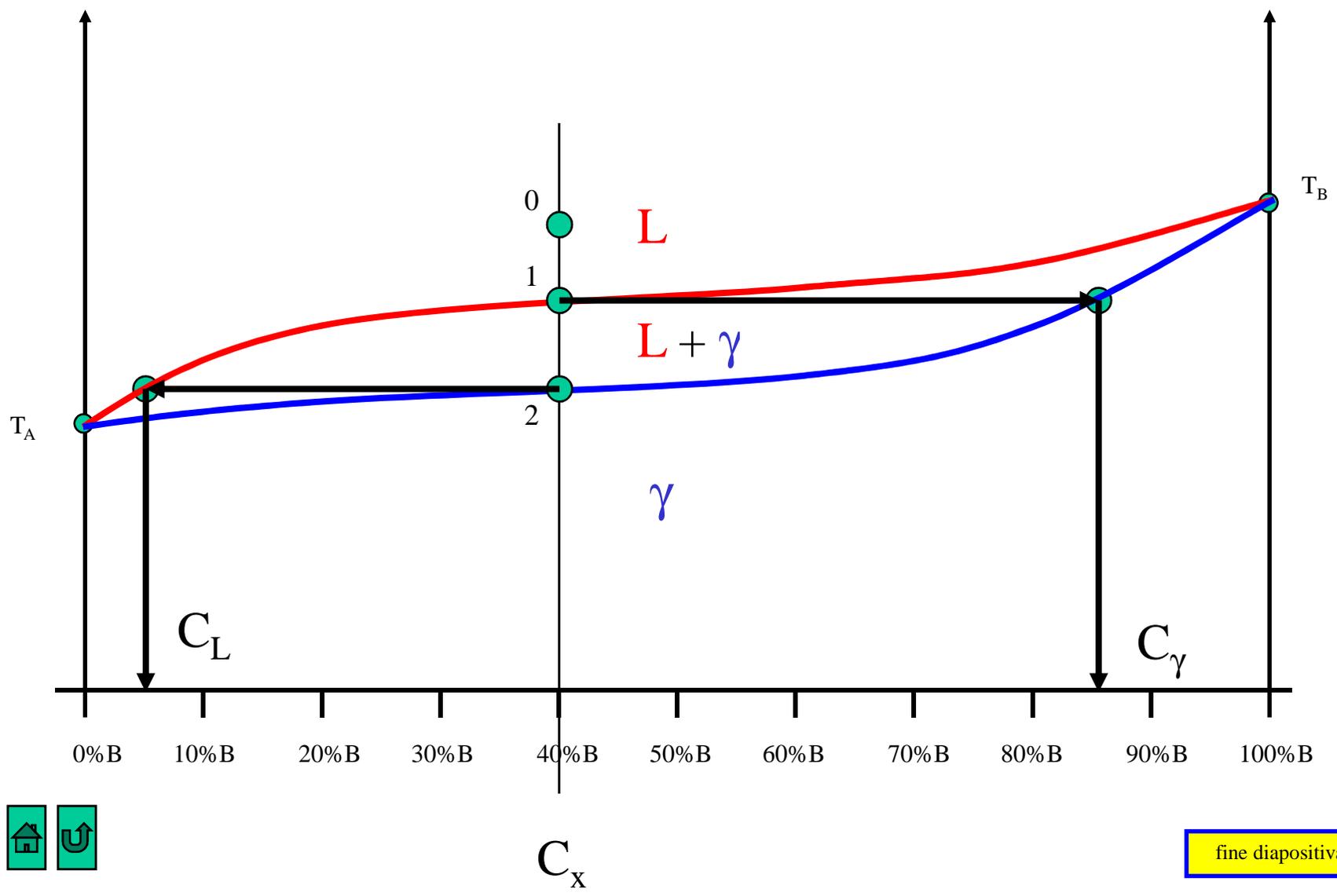
Nell’esempio seguente si analizzerà una lega con il 40% di B

Premere barra spaziatrice per proseguire

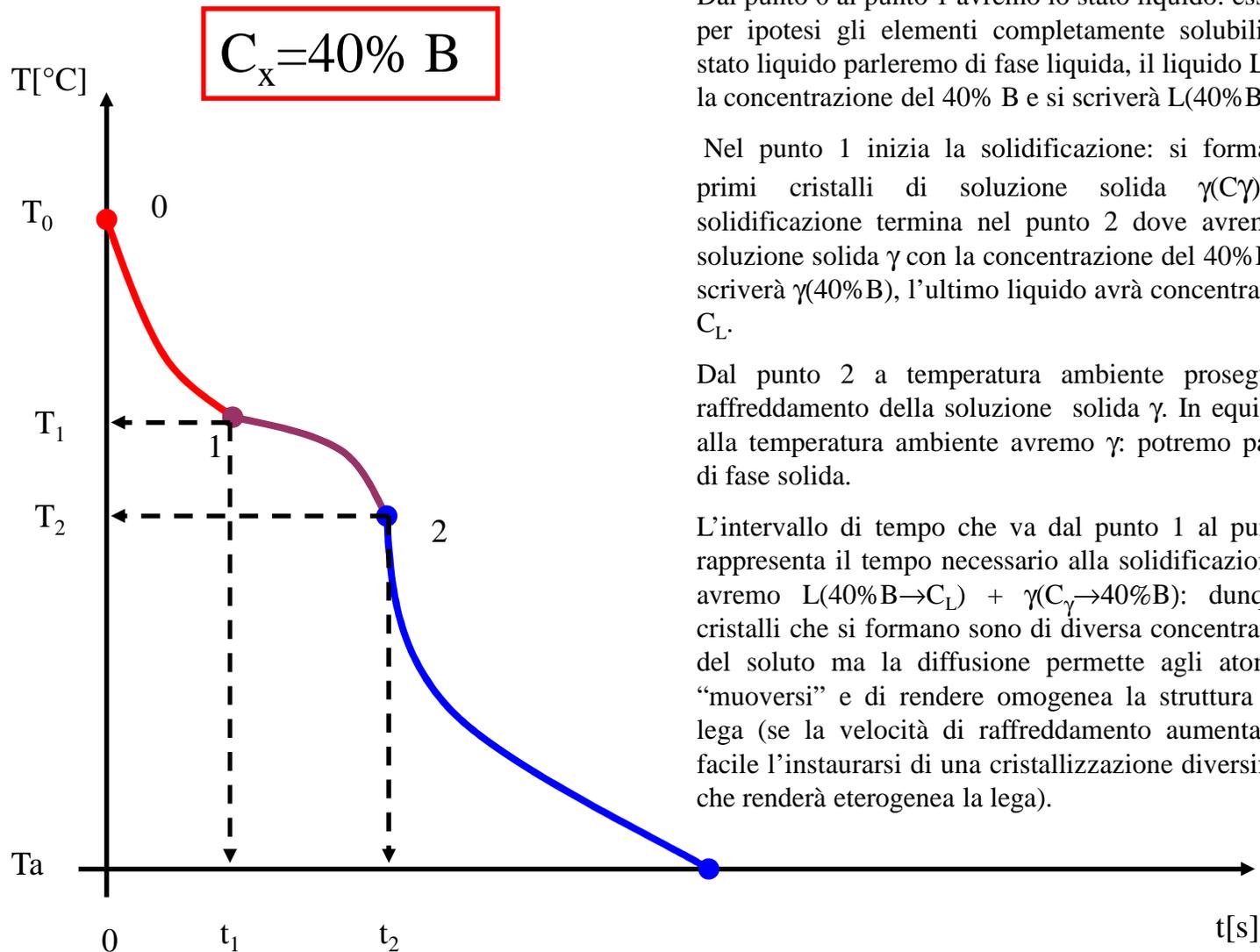


fine diapositiva

Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice



fine diapositiva



Dal punto 0 al punto 1 avremo lo stato liquido: essendo per ipotesi gli elementi completamente solubili allo stato liquido parleremo di fase liquida, il liquido L avrà la concentrazione del 40% B e si scriverà $L(40\%B)$.

Nel punto 1 inizia la solidificazione: si formano i primi cristalli di soluzione solida $\gamma(C\gamma)$; la solidificazione termina nel punto 2 dove avremo la soluzione solida γ con la concentrazione del 40%B e si scriverà $\gamma(40\%B)$, l'ultimo liquido avrà concentrazione C_L .

Dal punto 2 a temperatura ambiente prosegue il raffreddamento della soluzione solida γ . In equilibrio alla temperatura ambiente avremo γ : potremo parlare di fase solida.

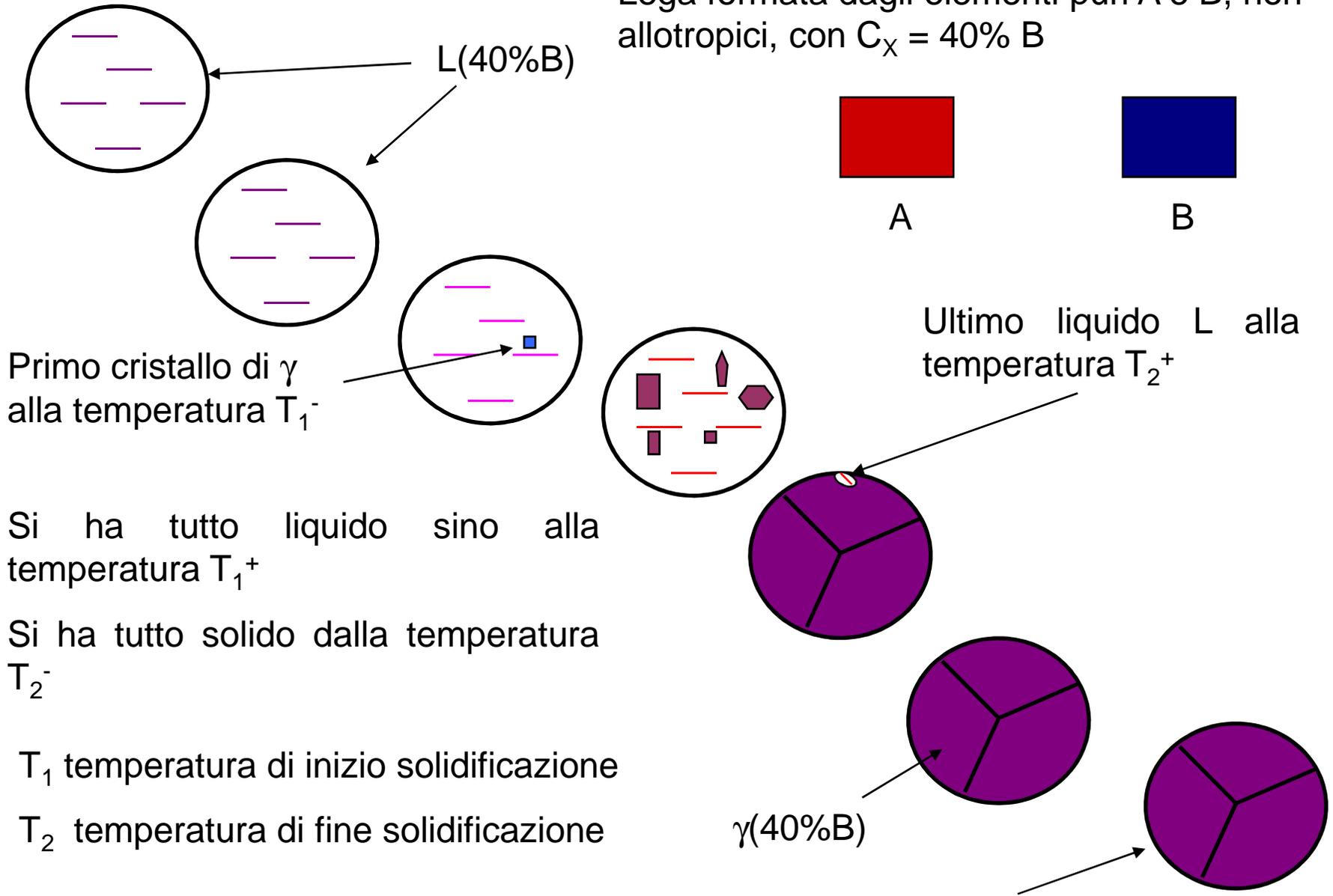
L'intervallo di tempo che va dal punto 1 al punto 2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione ed avremo $L(40\%B \rightarrow C_L) + \gamma(C_\gamma \rightarrow 40\%B)$: dunque i cristalli che si formano sono di diversa concentrazione del soluto ma la diffusione permette agli atomi di "muoversi" e di rendere omogenea la struttura della lega (se la velocità di raffreddamento aumenta sarà facile l'instaurarsi di una cristallizzazione diversificata che renderà eterogenea la lega).



Premere la barra spaziatrice per l'animazione o per proseguire e vedere la lega durante il raffreddamento attraverso il "microscopio"

fine diapositiva

Lega formata dagli elementi puri A e B, non allotropici, con $C_X = 40\% B$



A



B

Si ha tutto liquido sino alla temperatura T_1^+

Si ha tutto solido dalla temperatura T_2^-

T_1 temperatura di inizio solidificazione

T_2 temperatura di fine solidificazione

A T_2 avremo tutto il solido formato dalla soluzione solida $\gamma(40\%B)$



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

Se si desidera conoscere la qualità e la quantità delle fasi (coincidono nel nostro caso con le strutture) presenti ad una temperatura compresa fra T_1 e T_2 si agirà nel seguente modo:

- 1) si traccia l'isoterma passante per la temperatura desiderata e l'intersezione di detto segmento con la linea della concentrazione C_x in studio (nostro caso 40%B) determinerà il "baricentro" delle masse delle fasi coesistenti;
- 2) dall'intersezione dell'isoterma con le linee del diagramma di equilibrio si leggono le concentrazioni delle fasi presenti in equilibrio;
- 3) per la regola della leva (derivata dal principio di conservazione della massa) i segmenti che vanno dalle linee del diagramma al "baricentro" saranno proporzionali alle quantità delle fasi coesistenti: in particolare il segmento che tocca il confine di una fase rappresenterà in quantità l'altra fase e viceversa.

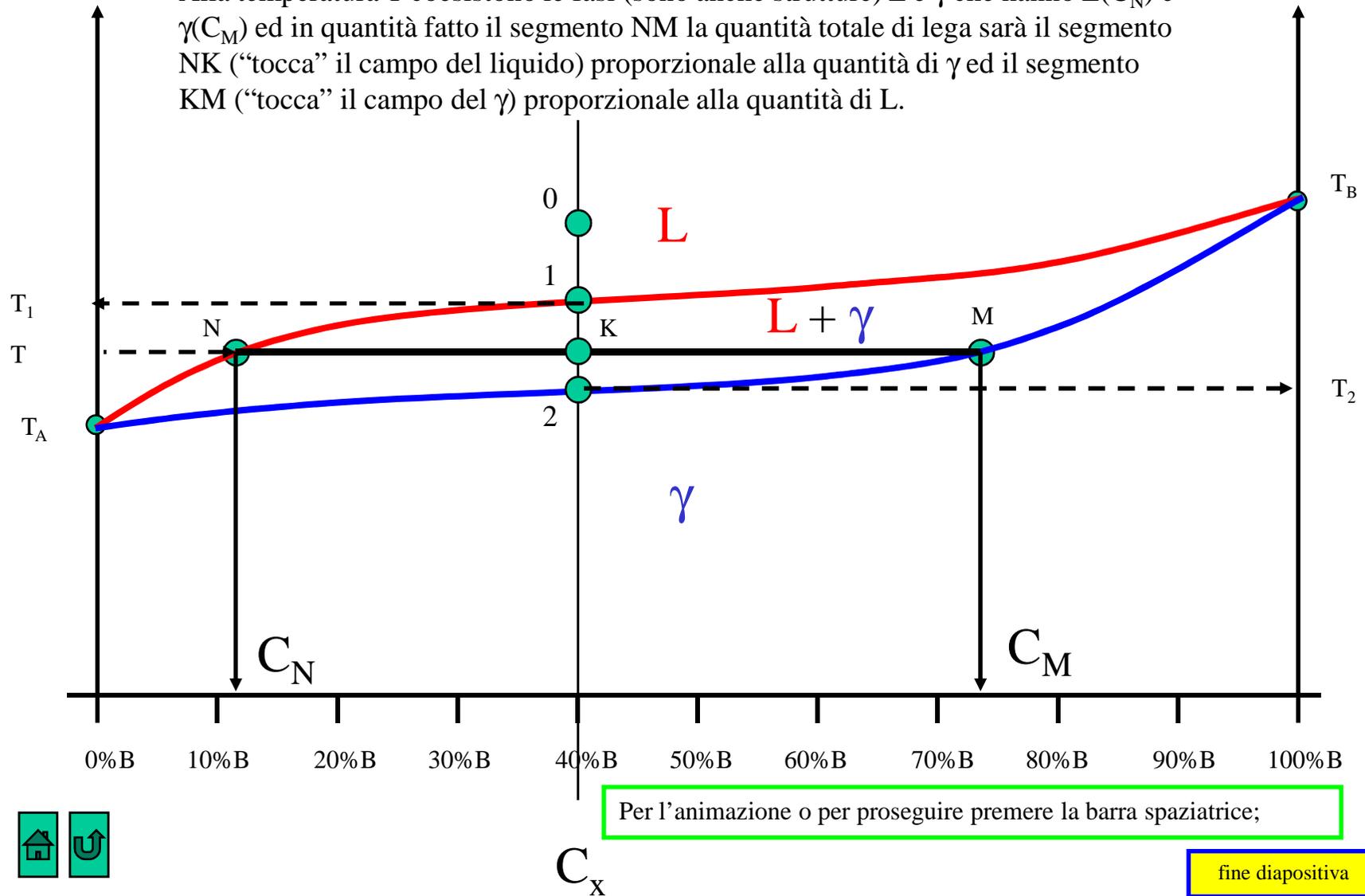
Ma vediamo l'esempio e tutto sarà più chiaro!

Premere la barra spaziatrice per l'animazione o per proseguire



fine diapositiva

Alla temperatura T coesistono le fasi (sono anche strutture) L e γ che hanno $L(C_N)$ e $\gamma(C_M)$ ed in quantità fatto il segmento NM la quantità totale di lega sarà il segmento NK ("tocca" il campo del liquido) proporzionale alla quantità di γ ed il segmento KM ("tocca" il campo del γ) proporzionale alla quantità di L .



SECONDO CASO

L'esempio in considerazione è una lega formata da elementi A e B, non allotropici, completamente solubili in campo liquido ma completamente insolubili in campo solido senza formazione di eutettico.

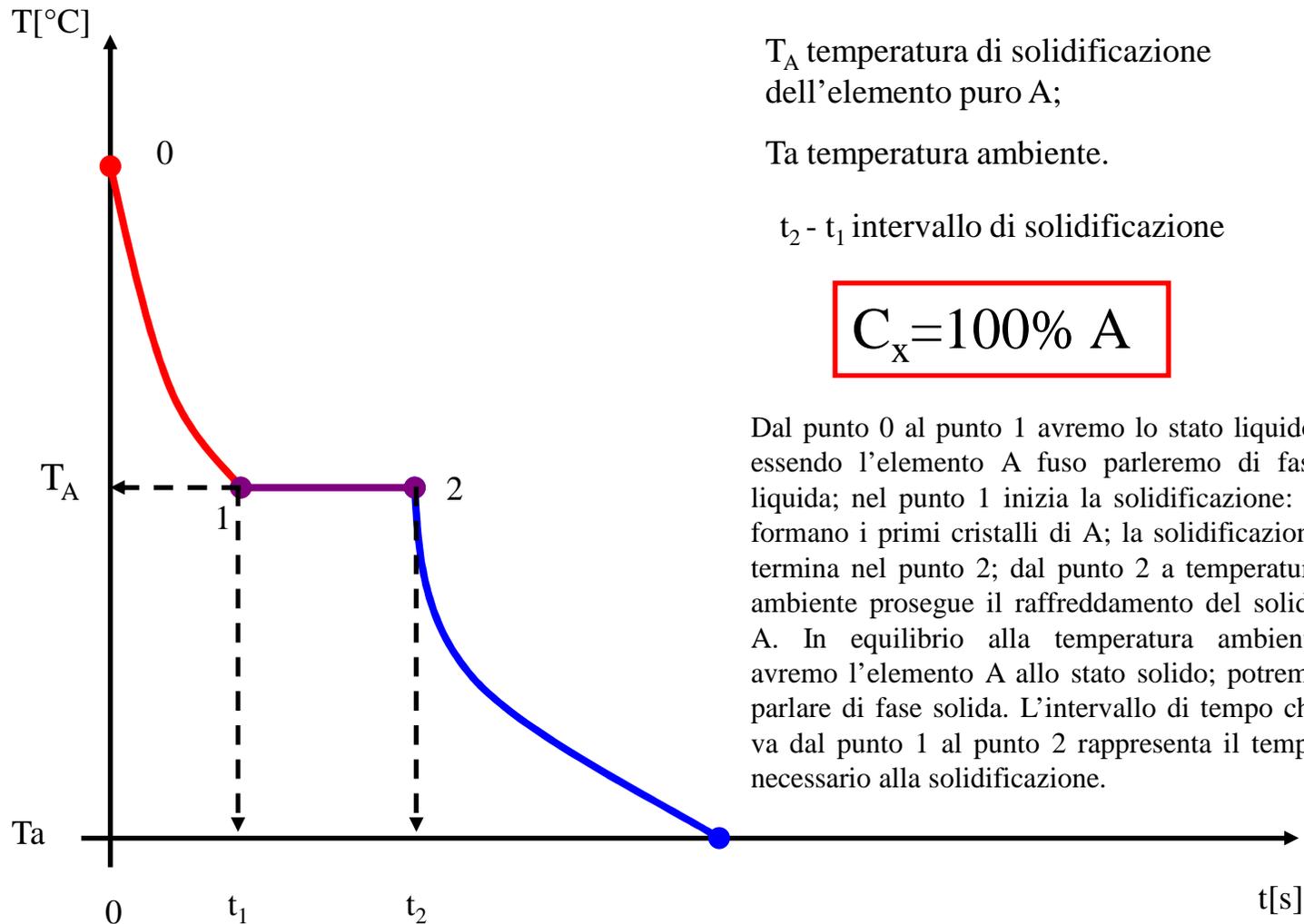
Le curve di raffreddamento sono costruite con condizioni al contorno costanti: l'unica variabile è la concentrazione della lega binaria.

Ipotesi fondamentale: il raffreddamento viene effettuato lentamente in modo da garantire l'equilibrio nella massa: in ogni punto, nello stesso istante, vi è la medesima temperatura.

Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

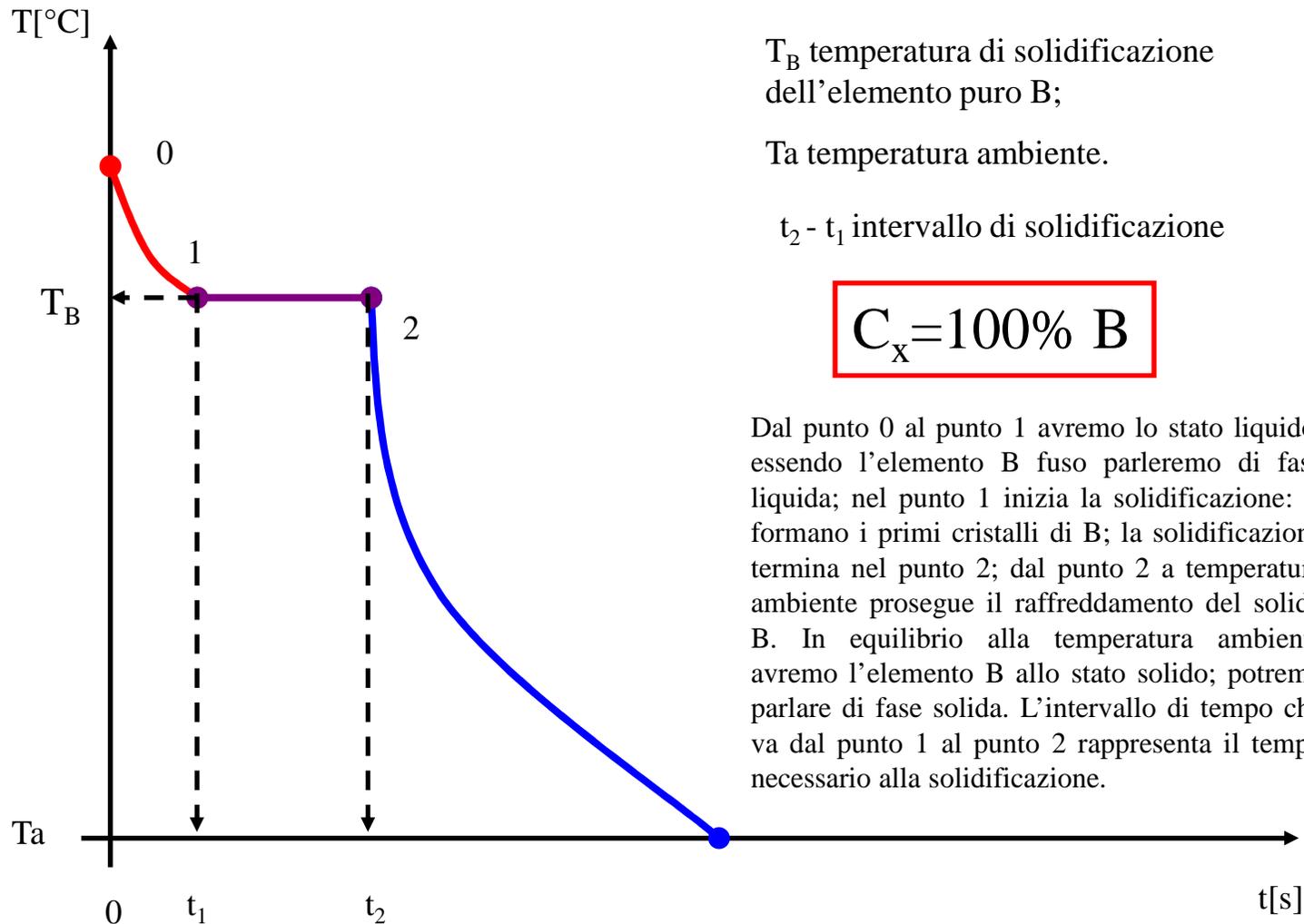


fine diapositiva



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

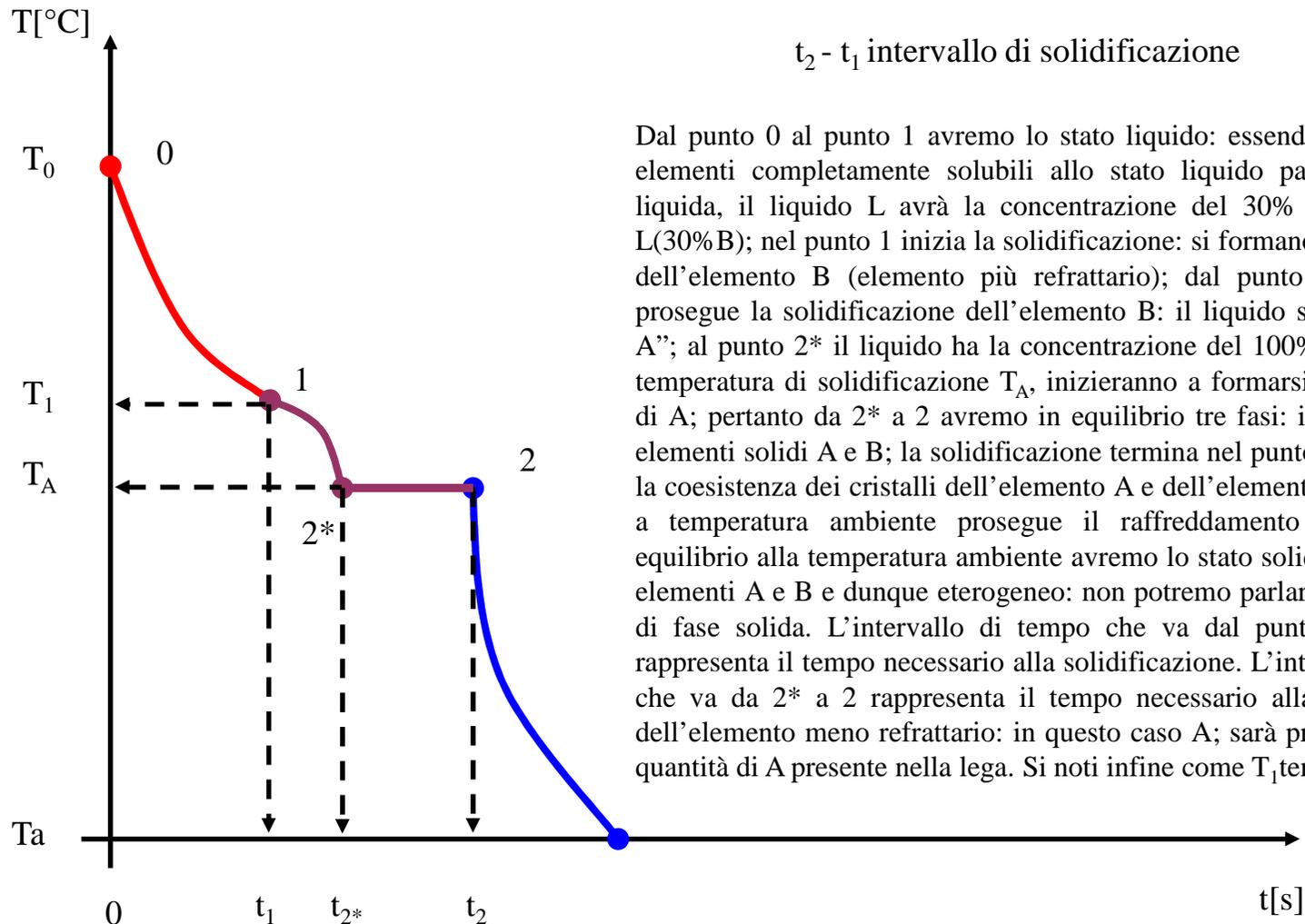
fine diapositiva



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

fine diapositiva

$$C_x = 30\% B$$



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

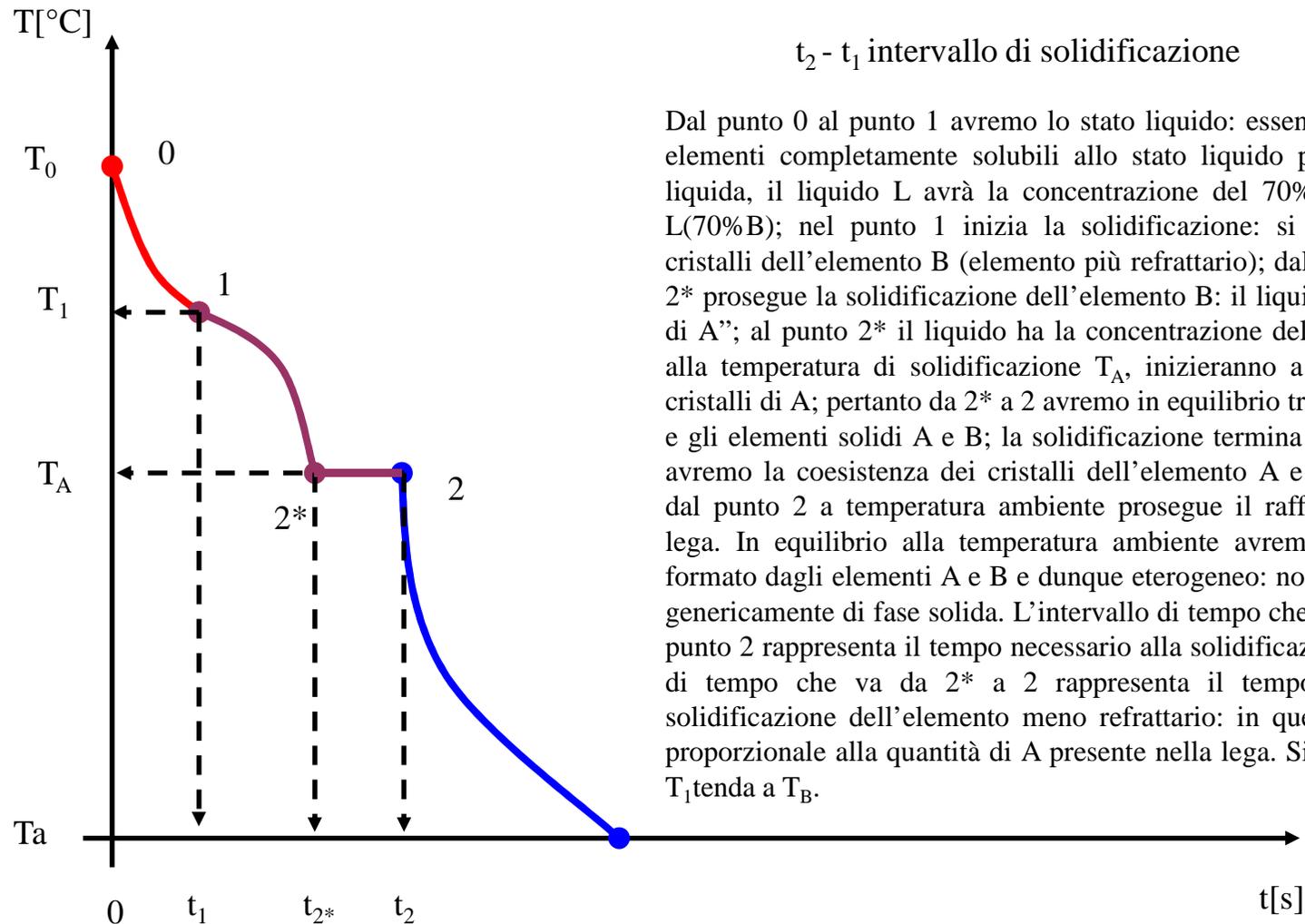
fine diapositiva

$$C_x = 70\% B$$

T_1 temperatura di inizio solidificazione;

T_2 temperatura di fine solidificazione.

$t_2 - t_1$ intervallo di solidificazione



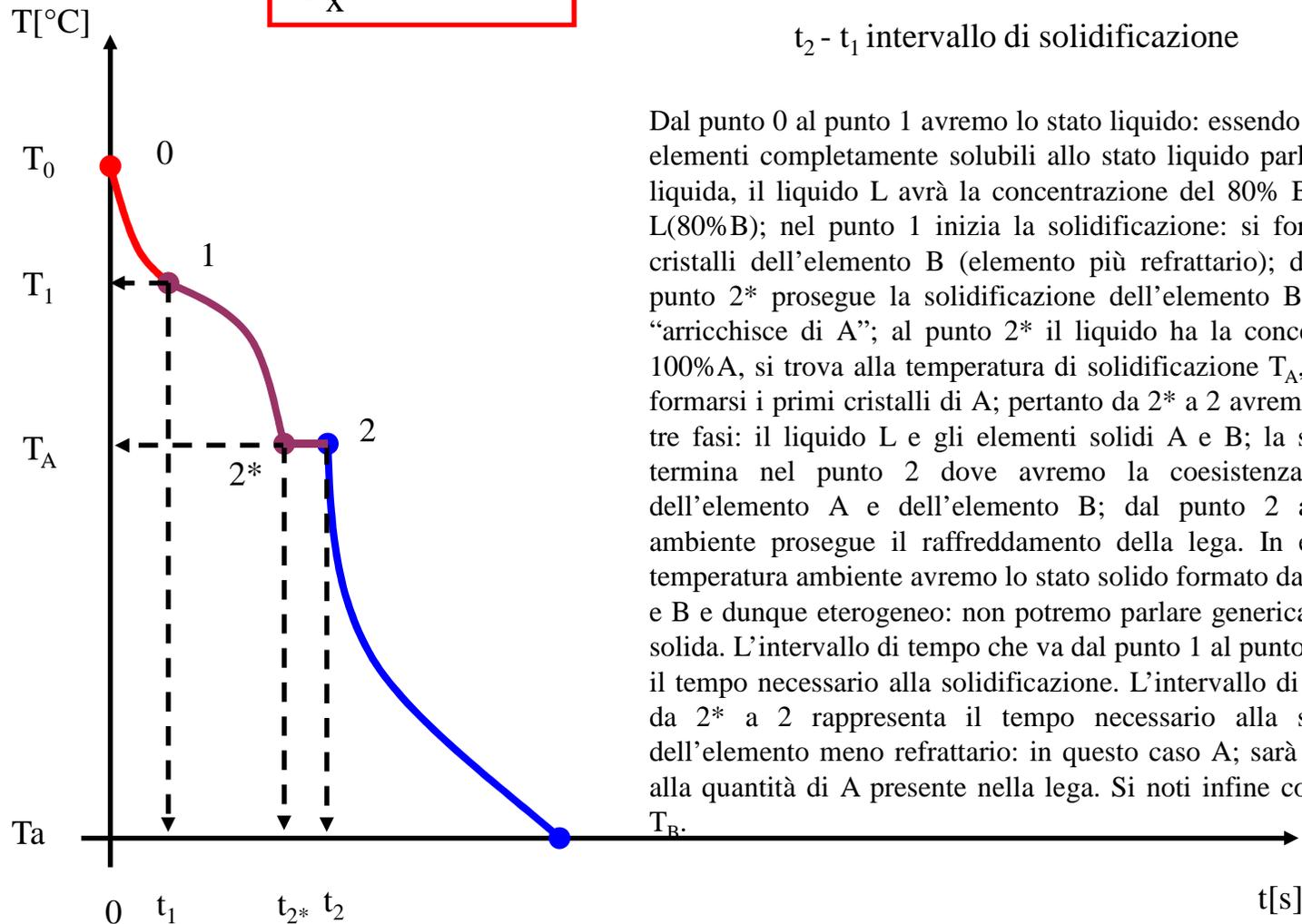
Dal punto 0 al punto 1 avremo lo stato liquido: essendo per ipotesi gli elementi completamente solubili allo stato liquido parleremo di fase liquida, il liquido L avrà la concentrazione del 70% B e si scriverà L(70%B); nel punto 1 inizia la solidificazione: si formano i primi cristalli dell'elemento B (elemento più refrattario); dal punto 1 al punto 2* prosegue la solidificazione dell'elemento B: il liquido si "arricchisce di A"; al punto 2* il liquido ha la concentrazione del 100%A, si trova alla temperatura di solidificazione T_A , inizieranno a formarsi i primi cristalli di A; pertanto da 2* a 2 avremo in equilibrio tre fasi: il liquido L e gli elementi solidi A e B; la solidificazione termina nel punto 2 dove avremo la coesistenza dei cristalli dell'elemento A e dell'elemento B; dal punto 2 a temperatura ambiente prosegue il raffreddamento della lega. In equilibrio alla temperatura ambiente avremo lo stato solido formato dagli elementi A e B e dunque eterogeneo: non potremo parlare genericamente di fase solida. L'intervallo di tempo che va dal punto 1 al punto 2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione. L'intervallo di tempo che va da 2* a 2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione dell'elemento meno refrattario: in questo caso A; sarà proporzionale alla quantità di A presente nella lega. Si noti infine come T_1 tenda a T_B .



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

fine diapositiva

$C_x = 80\% B$



T_1 temperatura di inizio solidificazione;

T_2 temperatura di fine solidificazione.

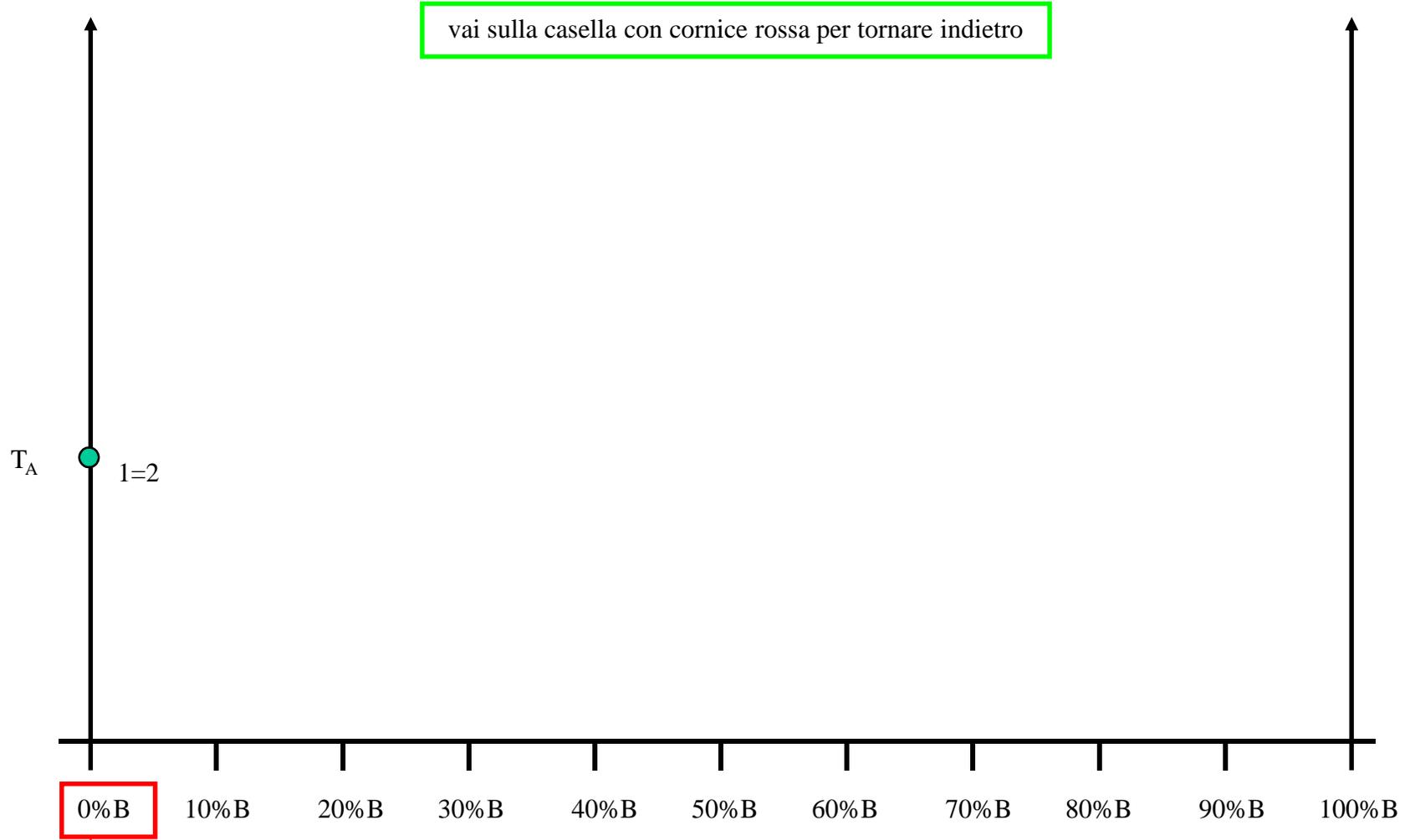
$t_2 - t_1$ intervallo di solidificazione

Dal punto 0 al punto 1 avremo lo stato liquido: essendo per ipotesi gli elementi completamente solubili allo stato liquido parleremo di fase liquida, il liquido L avrà la concentrazione del 80% B e si scriverà L(80%B); nel punto 1 inizia la solidificazione: si formano i primi cristalli dell'elemento B (elemento più refrattario); dal punto 1 al punto 2* prosegue la solidificazione dell'elemento B: il liquido si "arricchisce di A"; al punto 2* il liquido ha la concentrazione del 100%A, si trova alla temperatura di solidificazione T_A , inizieranno a formarsi i primi cristalli di A; pertanto da 2* a 2 avremo in equilibrio tre fasi: il liquido L e gli elementi solidi A e B; la solidificazione termina nel punto 2 dove avremo la coesistenza dei cristalli dell'elemento A e dell'elemento B; dal punto 2 a temperatura ambiente prosegue il raffreddamento della lega. In equilibrio alla temperatura ambiente avremo lo stato solido formato dagli elementi A e B e dunque eterogeneo: non potremo parlare genericamente di fase solida. L'intervallo di tempo che va dal punto 1 al punto 2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione. L'intervallo di tempo che va da 2* a 2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione dell'elemento meno refrattario: in questo caso A; sarà proporzionale alla quantità di A presente nella lega. Si noti infine come T_1 tenda a T_R .



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice; cliccare sulla casella con cornice rossa per vedere la rappresentazione sul diagramma di stato

fine diapositiva

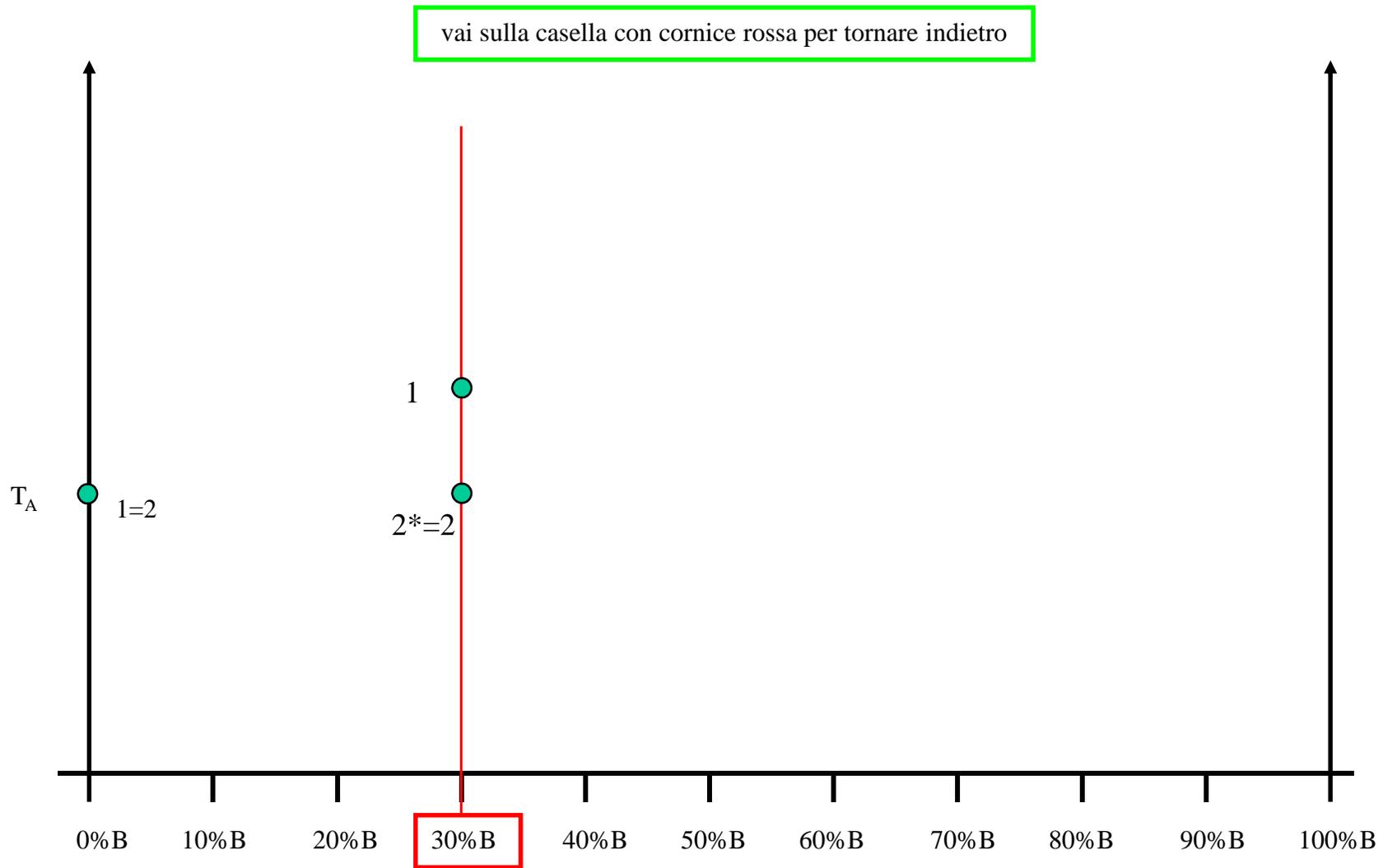


vai sulla casella con cornice rossa per tornare indietro



Per l'animazione premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

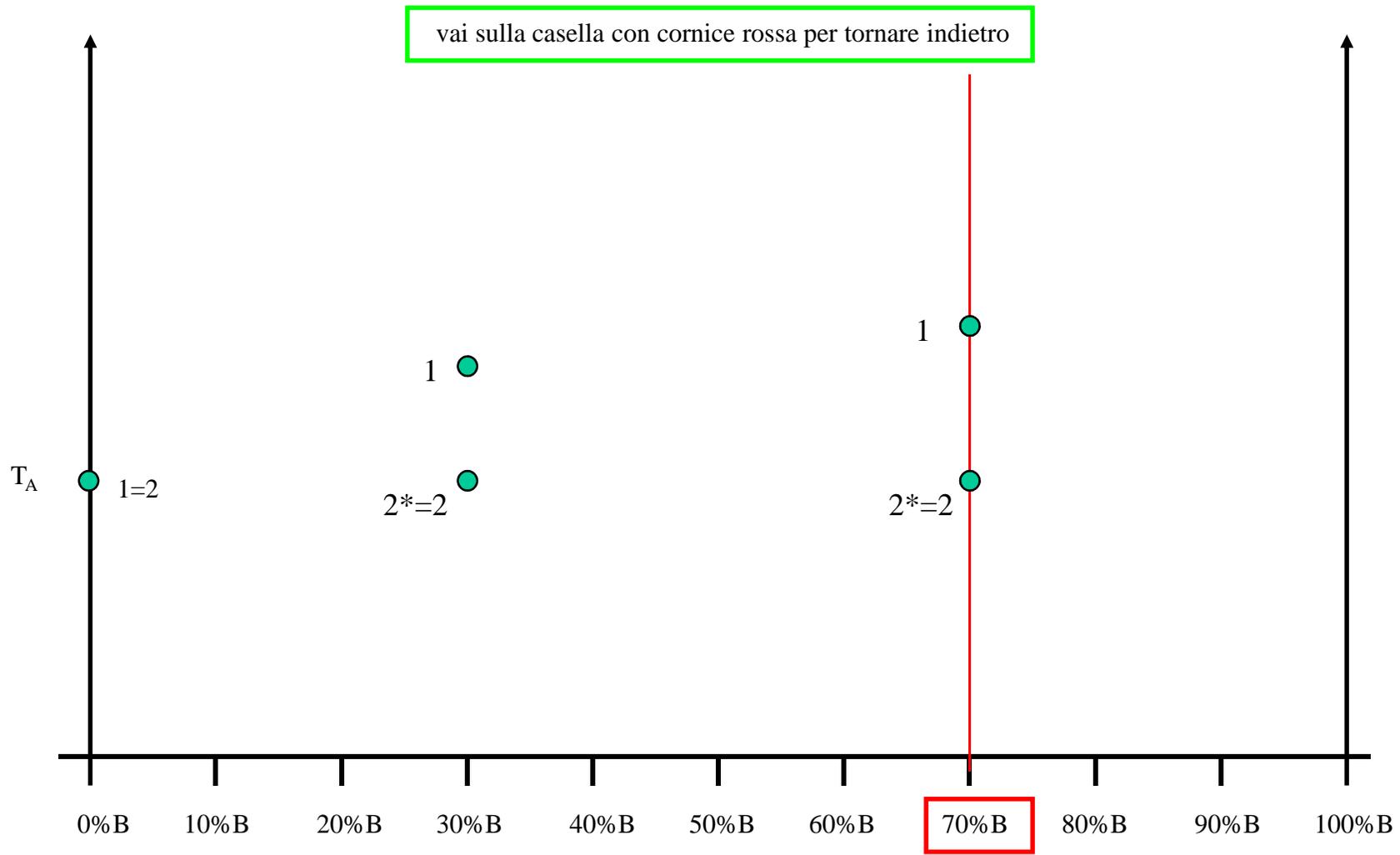


vai sulla casella con cornice rossa per tornare indietro

Per l'animazione premere la barra spaziatrice

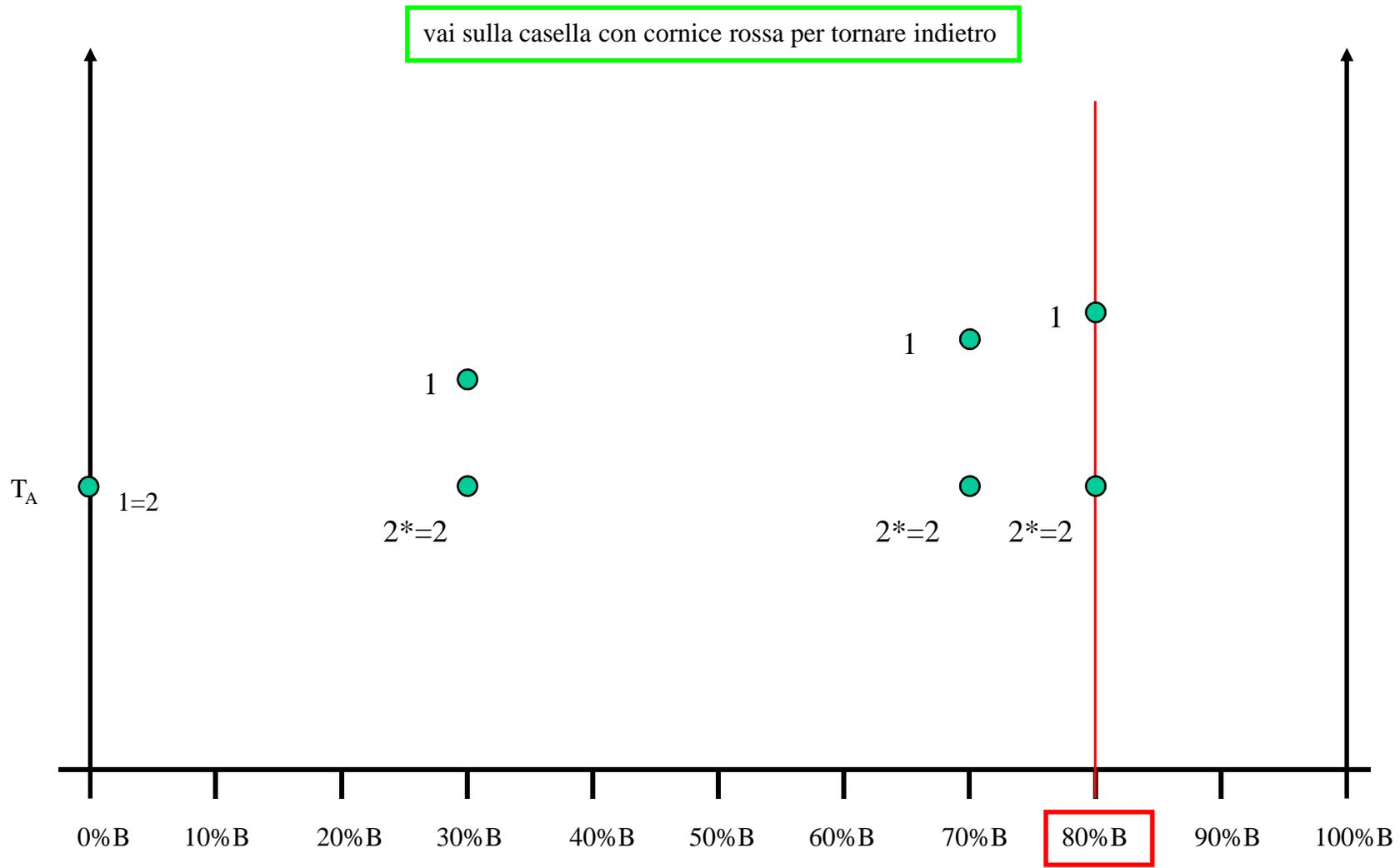
fine diapositiva





Per l'animazione premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

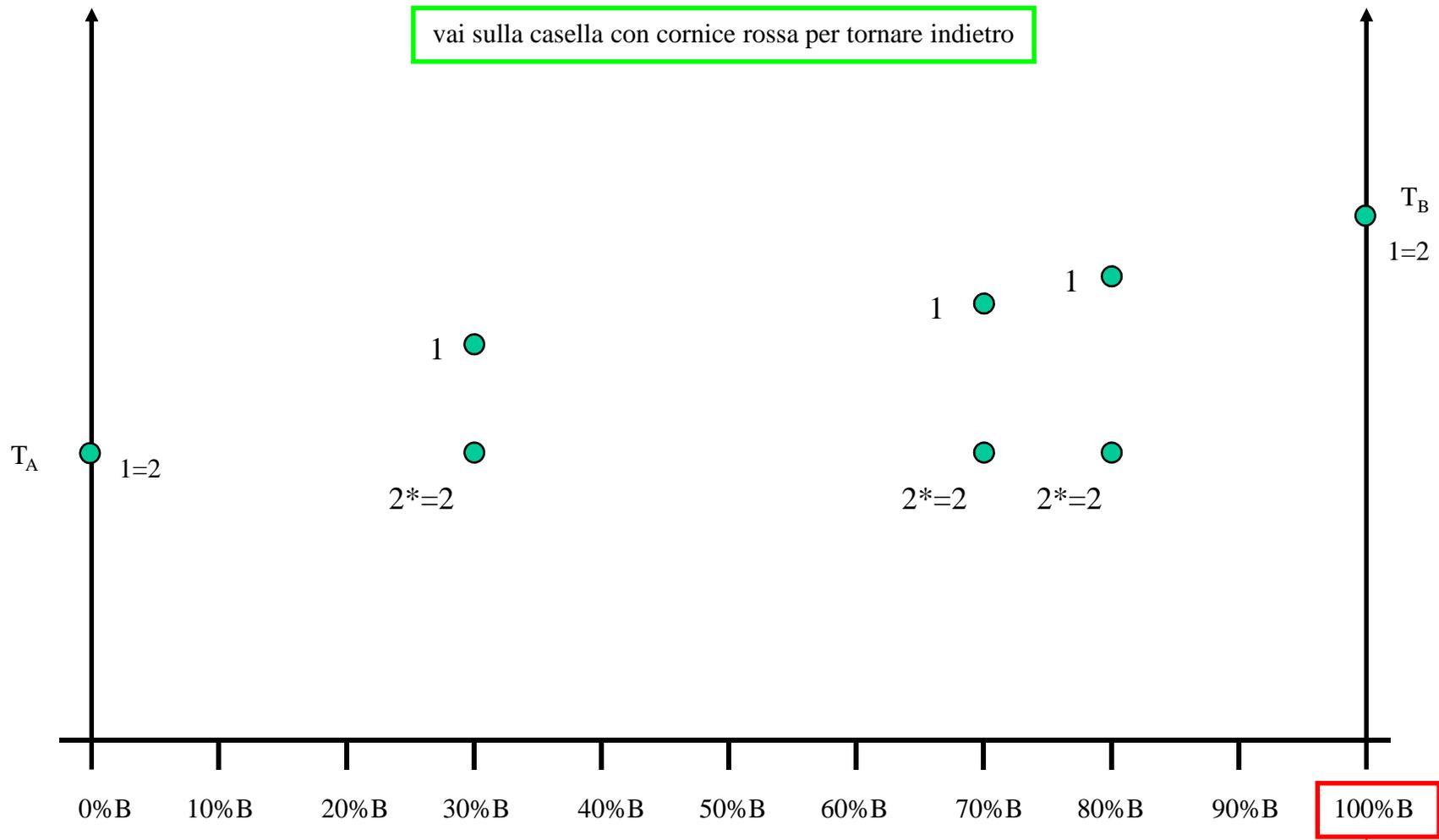


vai sulla casella con cornice rossa per tornare indietro



Per l'animazione premere la barra spaziatrice

fine diapositiva



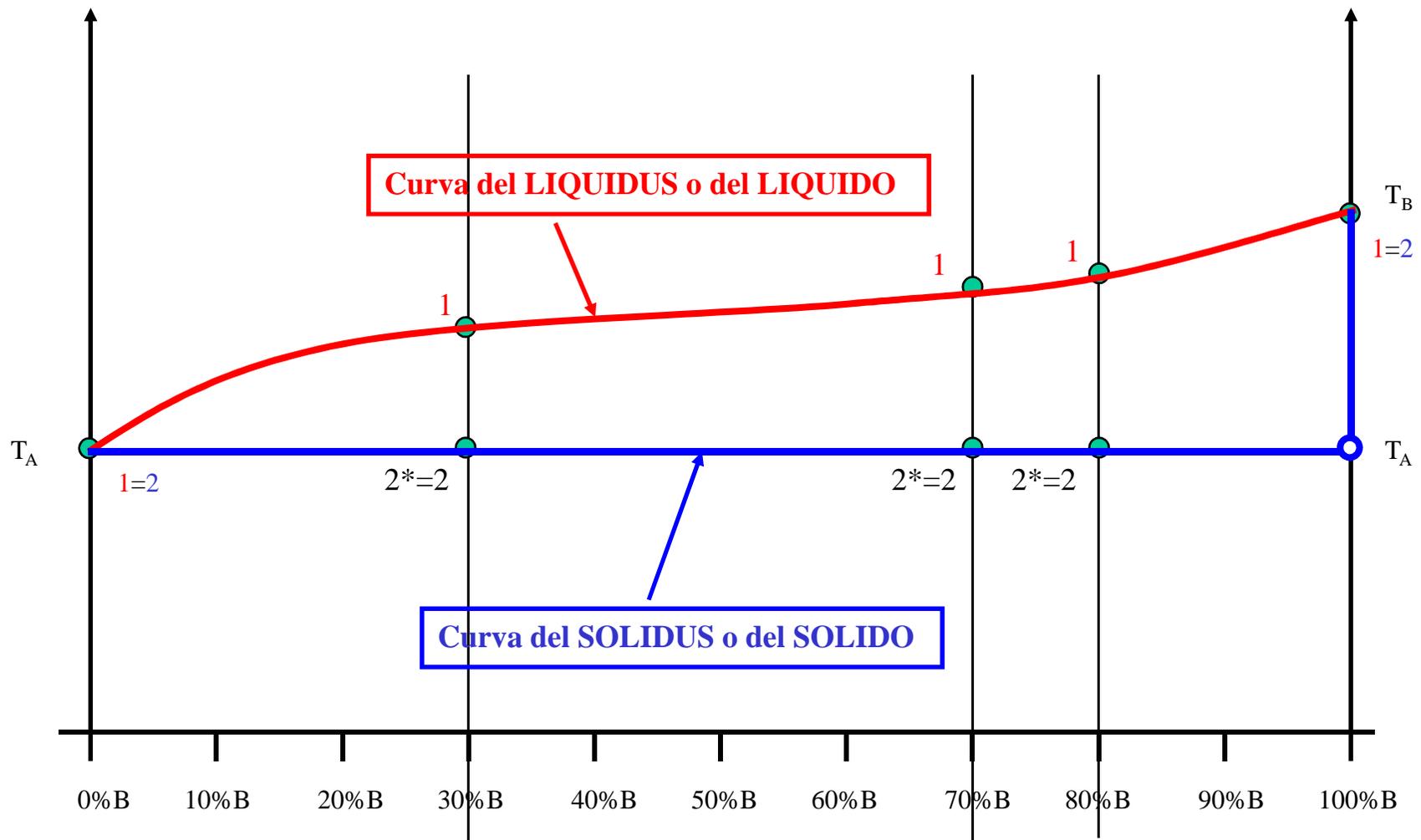
vai sulla casella con cornice rossa per tornare indietro



Per l'animazione premere la barra spaziatrice

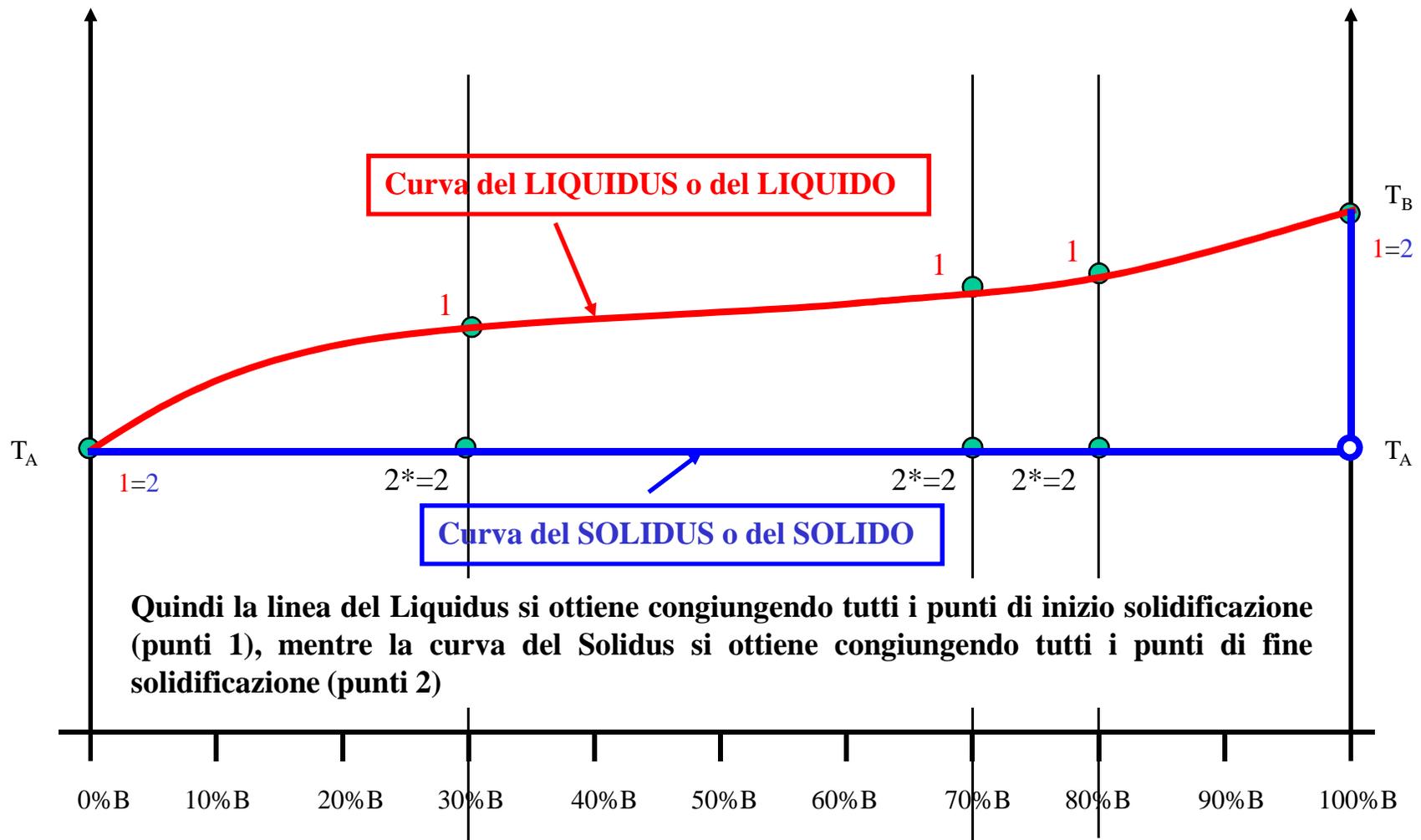
fine diapositiva

100%B



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

CONSIDERAZIONI

Quindi il diagramma di equilibrio si ottiene congiungendo i punti omologhi (tutti i punti, temperature critiche, che presentano lo stesso fenomeno chimico-fisico: tutti i punti di inizio solidificazione, tutti i punti di fine solidificazione, tutti i punti di inizio saturazione, tutti i punti di inizio formazione eutettico, tutti i punti di fine formazione eutettico,...) ottenuti sulle curve di raffreddamento alle varie concentrazioni. [NB. Si può passare dal piano (t,T), tempo temperatura, al piano (C%,T), concentrazione percentuale temperatura, perché i raffreddamenti sono ottenuti per via quasi statica.

Il diagramma di equilibrio rappresenta dunque una specie di cartina geografica in cui le curve critiche rappresentano i confini di esistenza e/o coesistenza delle varie fasi e/o strutture in equilibrio alle varie temperature per le varie concentrazioni.

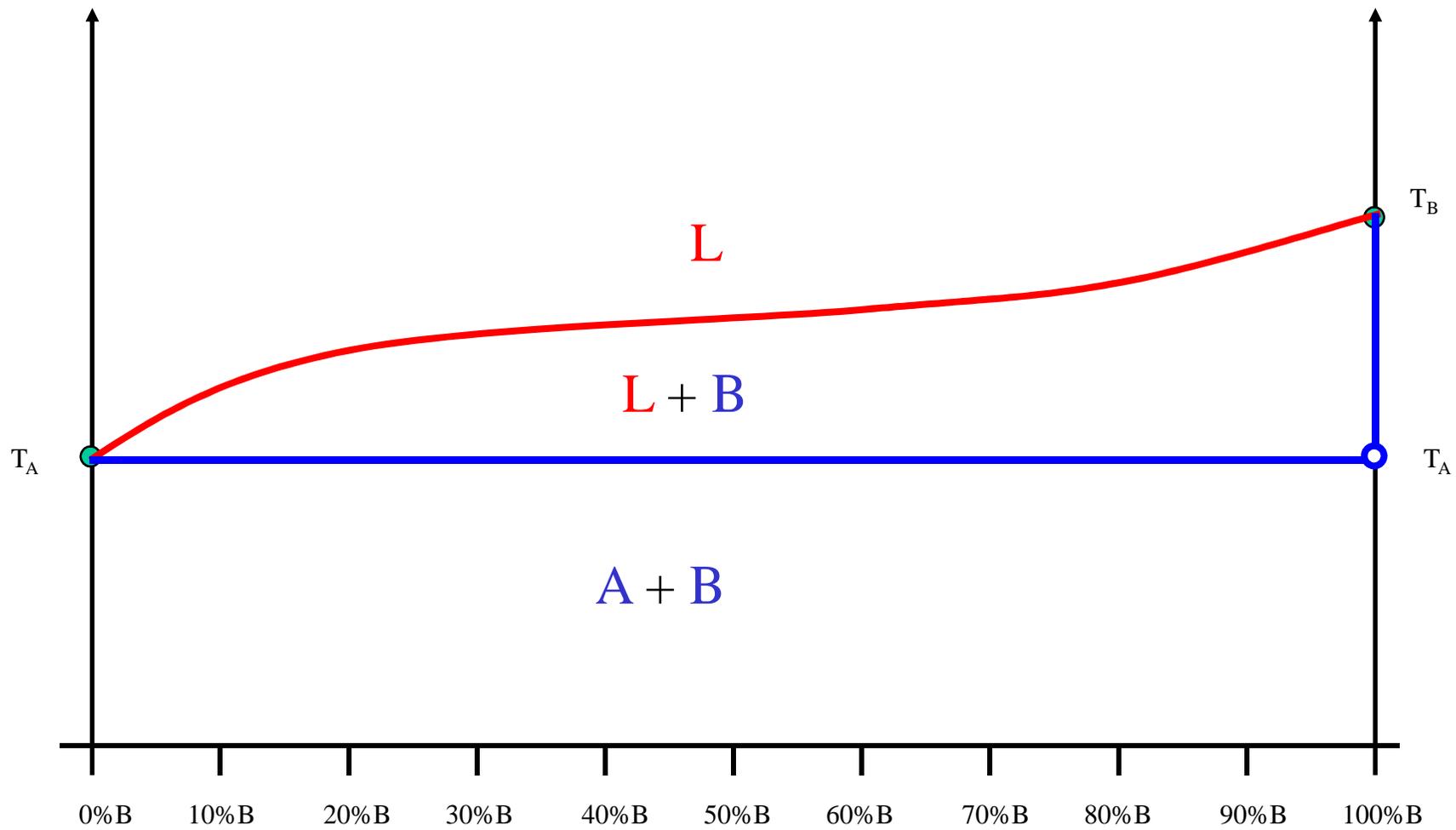
FASE: omogeneo; STRUTTURA: fase o insieme di più fasi; dunque una struttura può essere eterogenea.

Nel caso appena studiato le fasi e le strutture coincidono.

Premi barra spaziatrice per proseguire



fine diapositiva



Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

Per “leggere” un diagramma di stato è necessario compiere i seguenti passi:

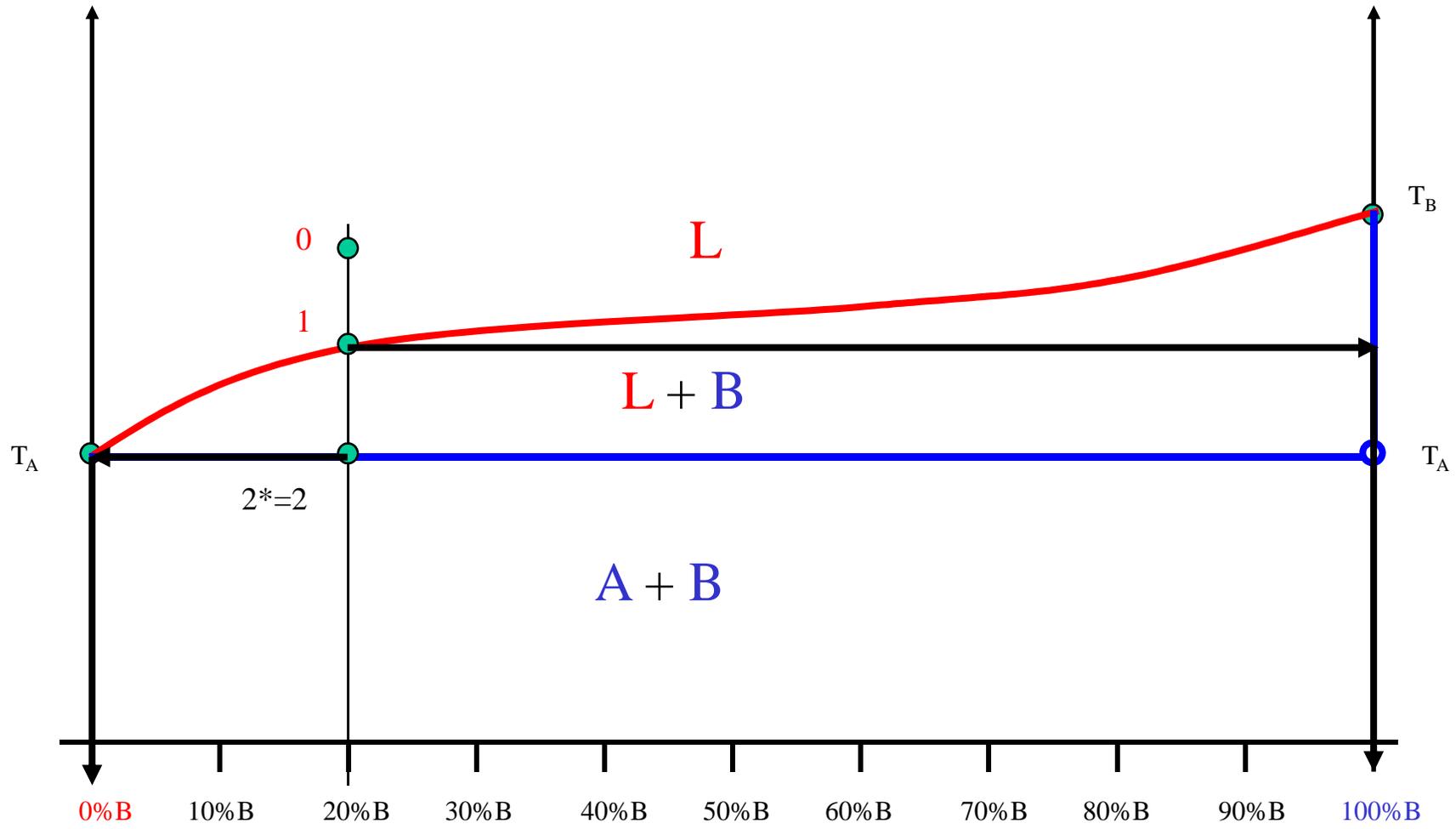
1. determinare la concentrazione C_x della lega che si desidera analizzare;
2. tracciare la parallela all’asse delle temperature che passa per la C_x determinata;
3. individuare le intersezioni di questa parallela con le linee del diagramma e partendo da un punto nel campo del liquido indicato con 0, enumerare di seguito le intersezioni trovate;
4. tracciare qualitativamente la curva di raffreddamento nel piano cartesiano t, T rammentando che “curva” chiama “curva” e che “isoterma” chiama “isoterma”;
5. collocare le fasi e/o le strutture incontrate a partire dallo stato completamente liquido e quando si incontrano campi di coesistenza tracciare segmenti paralleli all’asse delle ascisse (isoterme) fino ad incontrare il confine (le linee del diagramma) “guardando a destra e a sinistra”.

Nell’esempio seguente si analizzerà una lega con il 20% di B

Premere barra spaziatrice per proseguire



fine diapositiva

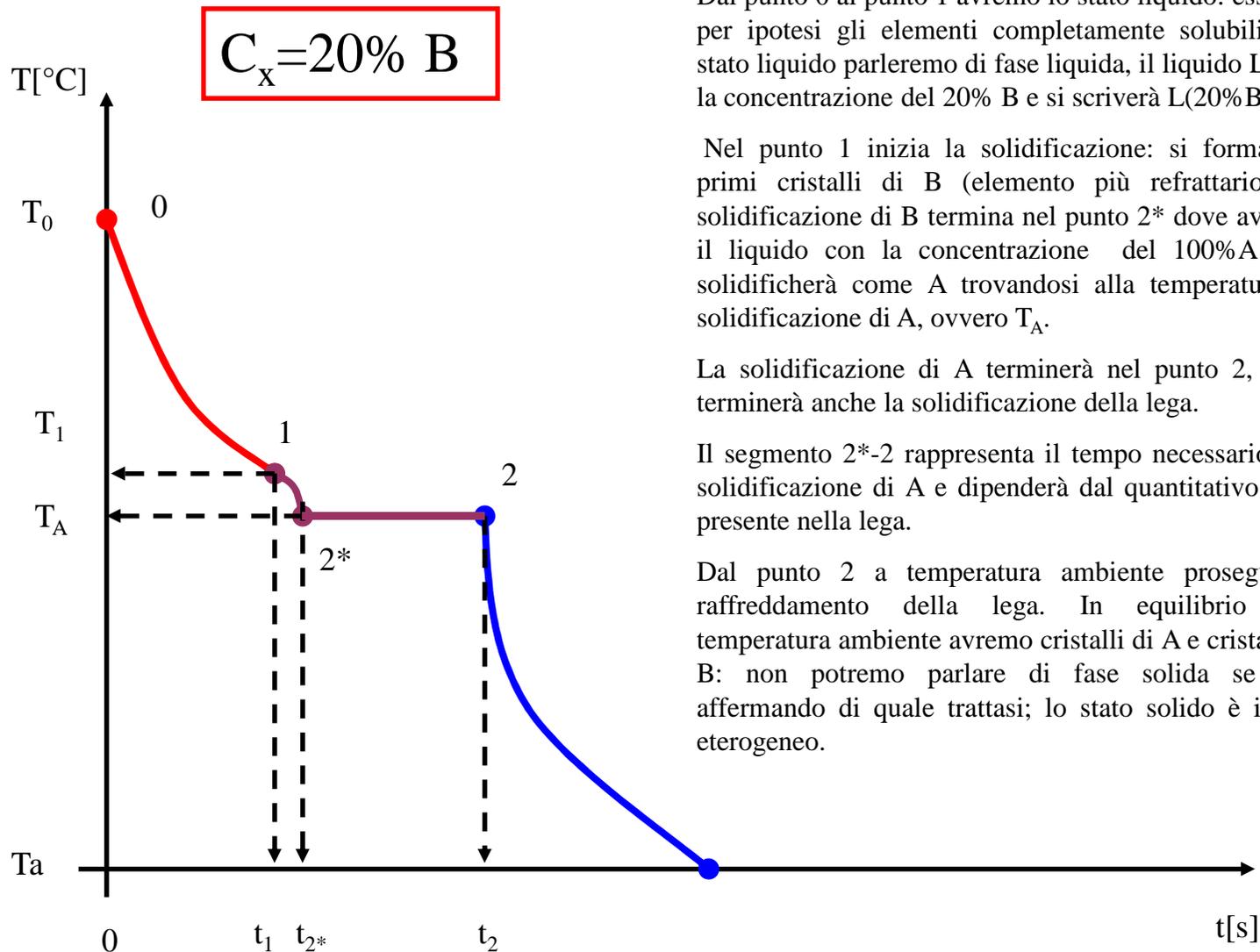


100%A

C_x

Per l'animazione o proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva



Dal punto 0 al punto 1 avremo lo stato liquido: essendo per ipotesi gli elementi completamente solubili allo stato liquido parleremo di fase liquida, il liquido L avrà la concentrazione del 20% B e si scriverà $L(20\%B)$.

Nel punto 1 inizia la solidificazione: si formano i primi cristalli di B (elemento più refrattario); la solidificazione di B termina nel punto 2^* dove avremo il liquido con la concentrazione del 100% A e si solidificherà come A trovandosi alla temperatura di solidificazione di A, ovvero T_A .

La solidificazione di A terminerà nel punto 2, dove terminerà anche la solidificazione della lega.

Il segmento 2^*-2 rappresenta il tempo necessario alla solidificazione di A e dipenderà dal quantitativo di A presente nella lega.

Dal punto 2 a temperatura ambiente prosegue il raffreddamento della lega. In equilibrio alla temperatura ambiente avremo cristalli di A e cristalli di B: non potremo parlare di fase solida se non affermando di quale trattasi; lo stato solido è infatti eterogeneo.



Premere la barra spaziatrice per l'animazione o per proseguire e vedere la lega durante il raffreddamento attraverso il "microscopio"

Lega formata dagli elementi puri A e B, non allotropici, con $C_x = 20\% B$

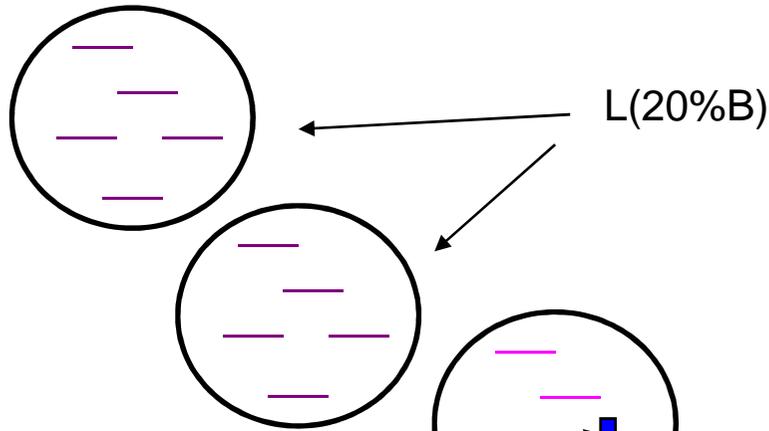


A



B

Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice



Primo cristallo di B alla temperatura T_1^-

Proseguimento solidificazione di B

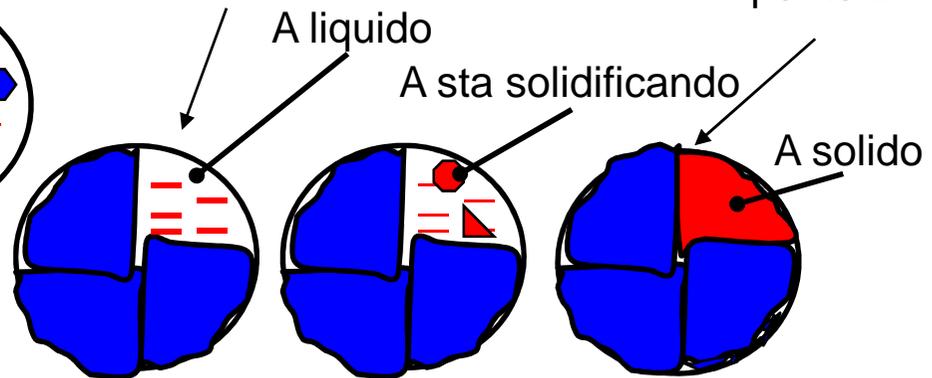
Si ha tutto liquido sino alla temperatura T_1^+

T_1 temperatura di inizio solidificazione

Punto 2*: T_A^+ temperatura inizio formazione cristalli di A; punto 2: T_A^- fine formazione cristalli di A e dunque T_A temperatura anche di fine solidificazione

A temperatura ambiente avremo cristalli di A e di B: mescolanza semplice

punto 2* fine solidificazione di B



punto 2

B

A

fine diapositiva



Se si desidera conoscere la qualità e la quantità delle fasi (coincidono nel nostro caso con le strutture) presenti ad una temperatura compresa fra T_1 e T_A si agirà nel seguente modo:

- 1) si traccia l'isoterma passante per la temperatura desiderata e l'intersezione di detto segmento con la linea della concentrazione C_x in studio (nostro caso 20%B) determinerà il “baricentro” delle masse delle fasi coesistenti;
- 2) dall'intersezione dell'isoterma con le linee del diagramma di equilibrio si leggono le concentrazioni delle fasi presenti in equilibrio;
- 3) per la regola della leva (derivata dal principio di conservazione della massa) i segmenti che vanno dalle linee del diagramma al “baricentro” saranno proporzionali alle quantità delle fasi coesistenti: in particolare il segmento che tocca il confine di una fase rappresenterà in quantità l'altra fase e viceversa.

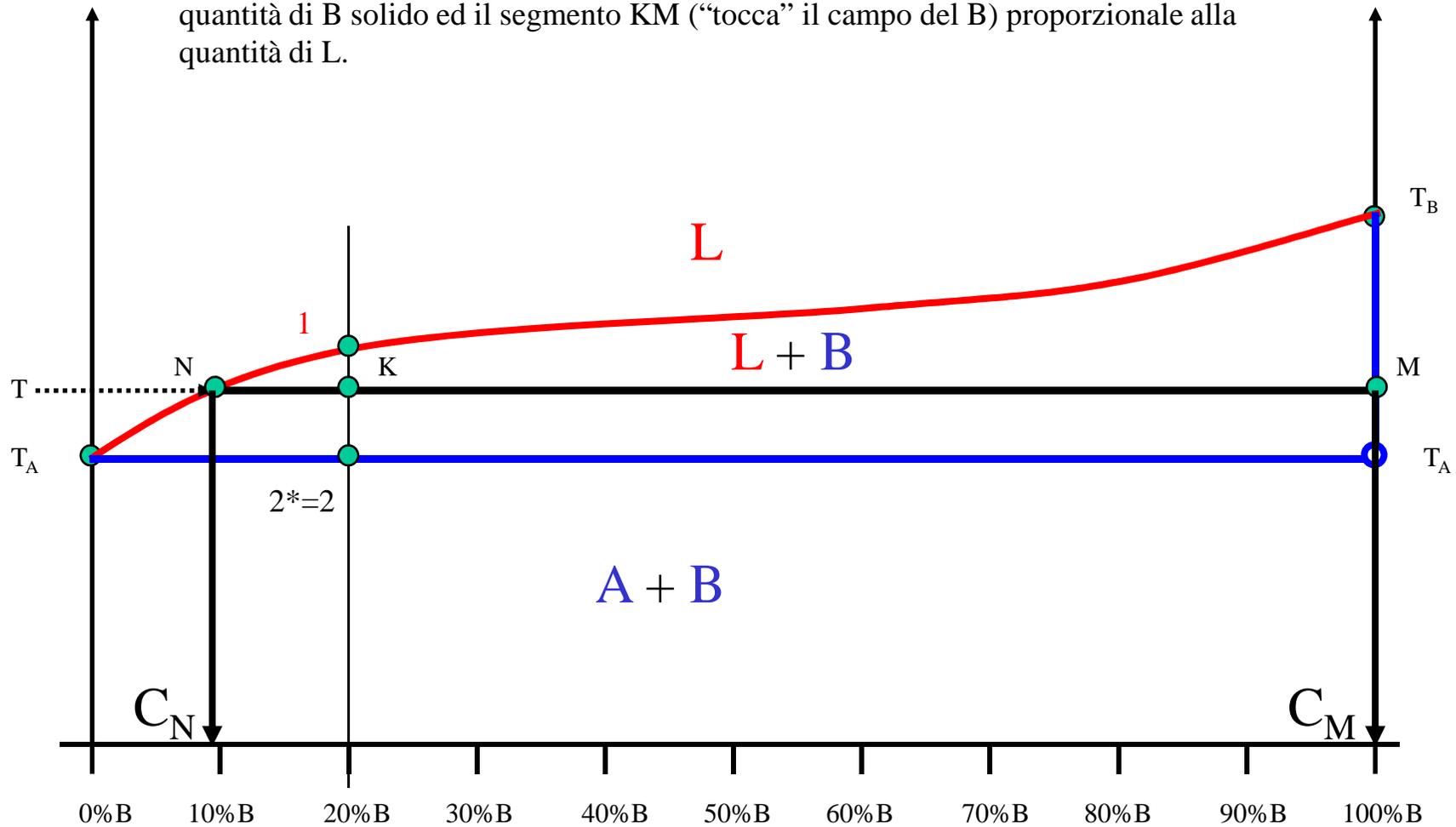
Ma vediamo l'esempio e tutto sarà più chiaro!

Premere la barra spaziatrice per l'animazione e per proseguire



fine diapositiva

Alla temperatura T coesistono le fasi (sono anche strutture) L e B che hanno $L(C_N)$ e $B(C_M)$ difatti è proprio 100%B] ed in quantità fatto il segmento NM la quantità totale di lega sarà il segmento NK ("tocca" il campo del liquido) proporzionale alla quantità di B solido ed il segmento KM ("tocca" il campo del B) proporzionale alla quantità di L .



C_X

Per l'animazione o per proseguire premere la barra spaziatrice

fine diapositiva

Eutettico significa BEN FUSIBILE: possiede una temperatura di solidificazione minore rispetto a quella dei suoi costituenti.

E' una struttura eterogenea: è infatti composto da più fasi. Può essere composto da elementi puri, da soluzioni, da un composto intermetallico e da un elemento puro, da un elemento puro e da una soluzione, ...

Si forma ad una ben definita temperatura per una ben definita concentrazione.

Possiede una curva di raffreddamento simile a quella di un elemento puro non [allotropico](#).

Può presentarsi in forma lamellare (grossolana, fine finissima), globulare (grossolana, fine finissima), in forma mista (o a scrittura cinese).

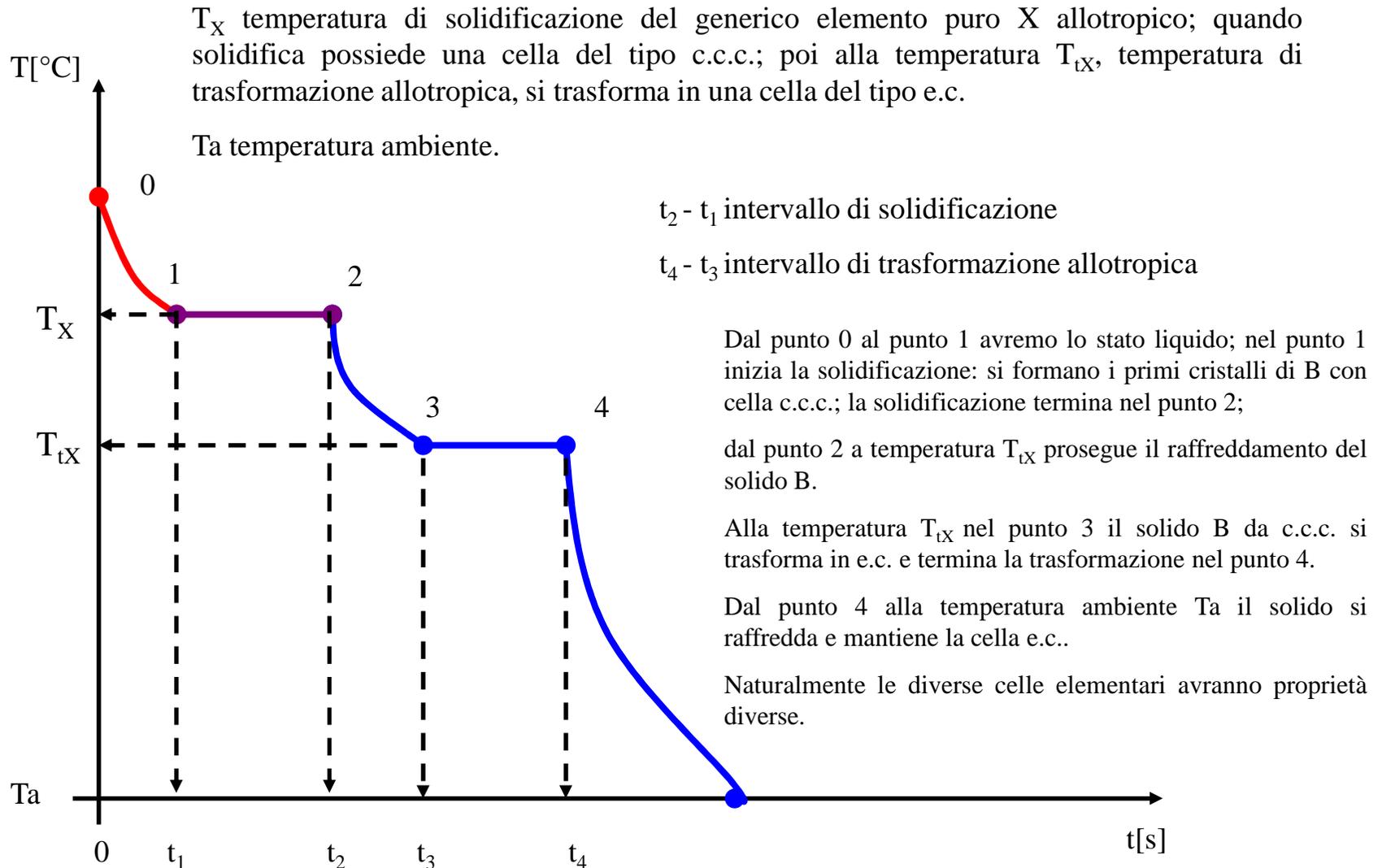


Allotropico: elemento che presenta diverse forme cristalline a diverse temperature (caso ad esempio del ferro) o anche alla stessa temperatura (caso ad esempio del carbonio: grafite, diamante, fullerene).

Nel caso dei metalli le celle elementari possono essere del tipo cubica a corpo centrato (c.c.c.), cubica a facce centrate (c.f.c.), esagonale compatta (e.c.); la curva di raffreddamento è del tipo (caso ad esempio del titanio)



CURVA DI SOLIDIFICAZIONE DI UN ELEMENTO PURO ALLOTROPICO



Nb. Per ogni tipo di cella elementare c'è un'invarianza ovvero la temperatura rimane costante per permettere la riallocazione degli atomi (nel nostro caso due celle elementari: c.c.c. ed e.c.)



Per l'animazione premere la barra spaziatrice

fine diapositiva