

OPERAZIONI UNITARIE CON APPLICAZIONI OPERAZIONI UNITARIE CON TRASFERIMENTO DI CALORE

L'ESSICCAMENTO

- FENOMENO
- OBIETTIVI
- VARIABILI
- PSICROMETRIA

CONSERVAZIONE DI LUNGO TERMINE		
OPERAZIONI DI CONGELAMENTO	OPERAZIONI DI STERILIZZAZIONE	OPERAZIONI DI DISIDRATAZIONE
Carne congelata, Carne surgelata	Carne in scatola	Prosciutto crudo e salumi analoghi, Carne sotto liofilizzata, Carne sotto sale, Carne essiccati, Carne assottigliata
	Latti sterilizzati, Latte concentrato	Latte in polvere, Siero di latte in polvere
Pesce, crostacei e frutti di mare congelati, Pesci, stoccafischi e frutti di mare	Pesce, crostacei e frutti di mare in scatola	Pesce essiccato, Pesce sotto liofilizzato, Pesce sotto sale, Pesce sotto sale
		Uovo in polvere, Uovo liofilizzato in polvere

FENOMENO

L'ESSICCAMENTO È UN'OPERAZIONE UNITARIA NELLA TECNOLOGIA ALIMENTARE CHE CONSISTE NELLA RIMOZIONE DELL'ACQUA DA UN PRODOTTO MEDIANTE EVAPORAZIONE. QUESTO PROCESSO È ESSENZIALE PER LA CONSERVAZIONE DEGLI ALIMENTI, RIDUCENDO L'ATTIVITÀ DELL'ACQUA (A_w) E PREVENENDO LO SVILUPPO MICROBICO E LE REAZIONI ENZIMATICHE INDESIDERATE.

OBIETTIVI

- **CONSERVAZIONE:** RIDUZIONE DELL'ATTIVITÀ DELL'ACQUA PER PREVENIRE CRESCITA MICROBICA
- **RIDUZIONE PESO E VOLUME:** MASSIMA EFFICACIA NEL PROCESSO FACILITANDO IL TRASPORTO E LO STOCCAGGIO, MINIMIZZANDO I COSTI
- **STABILIZZAZIONE:** BLOCCO DELLE REAZIONI CHIMICHE ED ENZIMATICHE
- **PREPARAZIONE INDUSTRIALE:** OTTENIMENTO DI PRODOTTI INTERMEDI PER ULTERIORI LAVORAZIONI

TIPOLOGIE DI ACQUA NEGLI ALIMENTI

ACQUA LIBERA:

- **FACILMENTE RIMOVIBILE** PER EVAPORAZIONE
- SI TROVA SULLA SUPERFICIE O IN CAVITÀ FACILMENTE ACCESSIBILI
- RESPONSABILE DELLA MAGGIOR PARTE DELL'ATTIVITÀ DELL'ACQUA

ACQUA DEBOLMENTE LEGATA:

- **TRATTENUTA** NELLA STRUTTURA CELLULARE (PARETI, FIBRE, PROTEINE)
- RICHIEDE MAGGIORE ENERGIA PER ESSERE RIMOSSA
- INCLUDE ACQUA DI IDRATAZIONE E ACQUA INTRAPPOLATA

ACQUA FORTEMENTE LEGATA:

- **INGLOBATA** NELLA STRUTTURA DEL PRODOTTO (PARETI CELLULARI, FIBRE)
- LA PIÙ DIFFICILE DA RIMUOVERE

L'ATTIVITÀ DELL'ACQUA

È DI VITALE IMPORTANZA PER LO SVILUPPO DI DETERMINATE SPECIE MICROBICHE O ATTIVITÀ ENZIMATICHE DI UN ALIMENTO. RAPPRESENTA LO STATO ENERGETICO DELL'ACQUA IN UN DATO SISTEMA.

$$AW = P/P^\circ$$

- P = PRESSIONE PARZIALE DELL'ACQUA PRESENTE NELL'ALIMENTO IN EQUILIBRIO CON L'AMBIENTE ;
- P° = PRESSIONE DI VAPORE DELL'ACQUA PURA ALLA STESSA TEMPERATURA

TRASFERIMENTO DI MATERIA

LA MATERIA, INTESA COME VAPORE D'ACQUA, DEVE SPOSTARSI:

- DALLA SUPERFICIE ALL'ARIA CIRCOSTANTE (EVAPORAZIONE)
- DALL'INTERNO DEL PRODOTTO VERSO LA SUPERFICIE (DIFFUSIONE INTERNA)

MECCANISMI DI DIFFUSIONE INTERNA:

- **DIFFUSIONE MOLECOLARE:** IN SOLIDI OMOGENEI (GEL, PASTE)
- **FLUSSO CAPILLARE:** IN MATERIALI POROSI (PANE, FRUTTA SECCA)
- **FLUSSO CAUSATO DA GRADIENTI DI PRESSIONE:** IN ALCUNI SISTEMI PARTICOLARI

TRASFERIMENTO DI CALORE

L'ESSICCATORE RICHIENDE ENERGIA TERMICA PER:

- FORNIRE IL CALORE LATENTE NECESSARIO PER L'EVAPORAZIONE DELL'ACQUA
- MANTENERE LA TEMPERATURA DURANTE TUTTO IL PROCESSO

MODALITÀ DI TRASFERIMENTO:

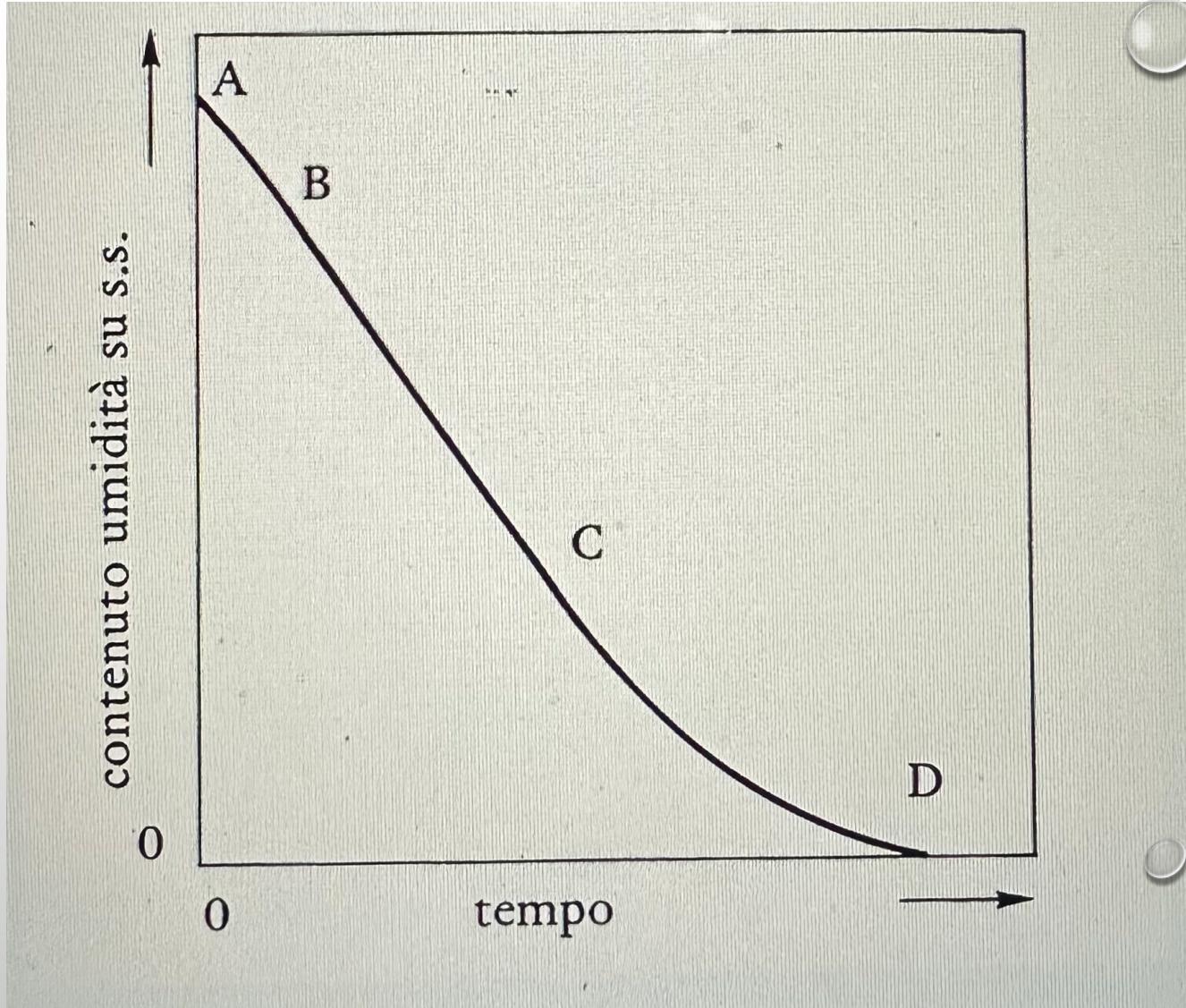
- **CONVEZIONE** (ARIA CALDA → PRODOTTO)
- **CONDUZIONE** (SUPERFICI RISCALDATE → PRODOTTO)
- **IRRAGGIAMENTO** (ONDE ELETROMAGNETICHE)

VARIABILI

- TEMPERATURA(T): DETERMINA LA QUANTITÀ DI CALORE FORNITA AL PRODOTTO, INFLUENZANDO DIRETTAMENTE LA VELOCITÀ DI ESSICCAMENTO
- UMIDITÀ(H): RIGUARDA SIA L'UMIDITÀ DELL'ARIA SIA QUELLA DEL PRODOTTO; UN'UMIDITÀ INFERIORE ACCELERA LA PERDITA D'ACQUA NELL'ALIMENTO
- FLUSSO E VELOCITÀ DEL FLUIDO ESSICCANTE: AD ESEMPIO, LA PORTATA E LA VELOCITÀ DELL'ARIA CHE LAMBISCE IL PRODOTTO REGOLANO LO SCAMBIO TERMICO E DI MASSA
- SUPERFICIE ESPOSTA: PIÙ È ALTA LA SUPERFICIE A CONTATTO CON L'ARIA, MAGGIORE SARÀ LA VELOCITÀ DI ESSICCAMENTO
- DISPOSIZIONE E SPESORE DEL MATERIALE: LA DISPOSIZIONE DEL SOLIDO (COME LO SPESORE DELLA FETTA) E LA DENSITÀ INFLUENZANO I TEMPI E L'EFFICACIA DEL PROCESSO

L'ANDAMENTO DEL PROCESSO DI ESSICCAMENTO VIENE SEGUITO RIPORTANDO SU DI UN DIAGRAMMA IL CAMBIAMENTO DEL CONTENUTO IN ACQUA, RISPETTO AL TEMPO.

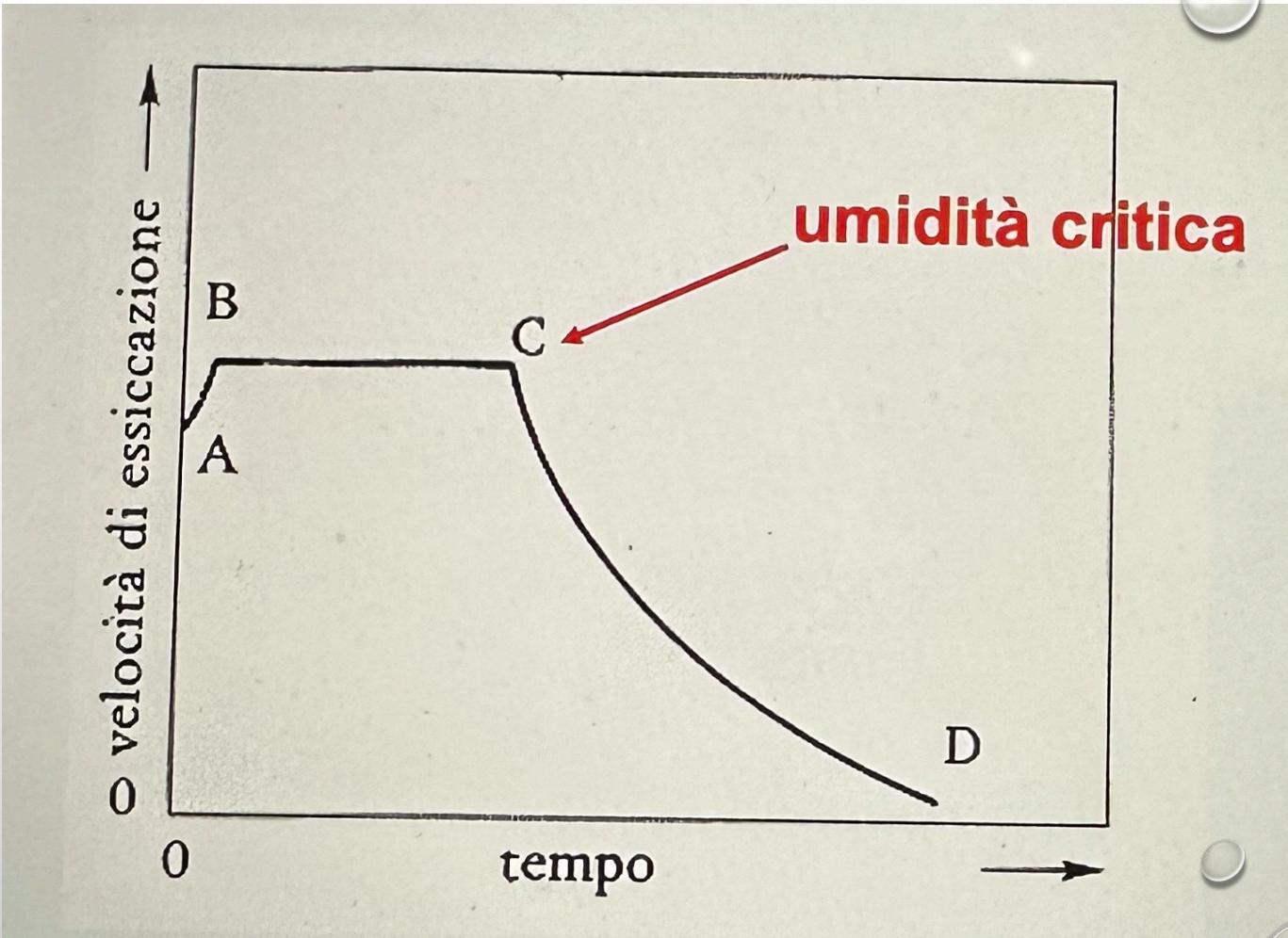
- (A-B) PERDITA DI ACQUA PER EVAPORAZIONE DA UNA SUPERFICIE UMIDA (ACQUA LIBERA)
- (B-C) L'ACQUA SI ALLONTANA DA UNA SUPERFICIE SATURA (ACQUA LIBERA)
- (C-D) L'ACQUA MIGRA DALL'INTERNO VERSO LA SUPERFICIE NON COMPLETAMENTE SATURA DI ACQUA. (ACQUA DEBOLMENTE LEGATA)



VELOCITÀ DI ESSICCAMENTO

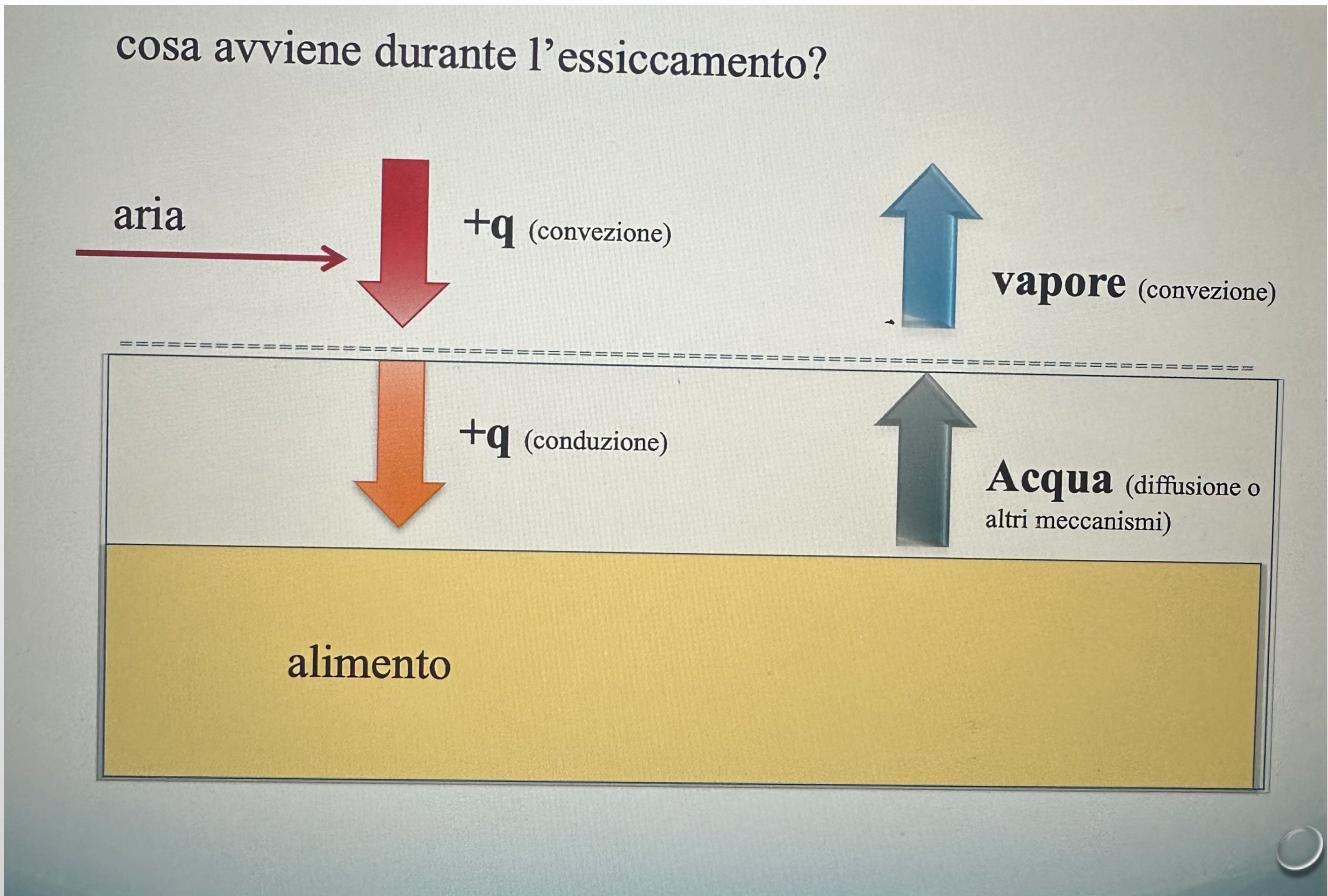
SI IDENTIFICANO DUE PERIODI IN CUI L'ESSICCAMENTO PROCEDE CON ANDAMENTO NETTAMENTE DIVERSO:

- - PERIODO **B-C**: ESSICCAMENTO A VELOCITÀ COSTANTE
- • PERIODO **C-D**: ESSICCAMENTO A VELOCITÀ DECRESCENTE (ANDAMENTO RALLENTATO).
- L PERIODO **A-B**, INIZIO DEL PROCESSO, NON RIVESTE MOLTA IMPORTANZA ESSENDO RELATIVO ALLE CONDIZIONI ESTERNE ADOTTATE.
- IL PUNTO **C** CORRISPONDE AL VALORE DI **UMIDITÀ CRITICA**.



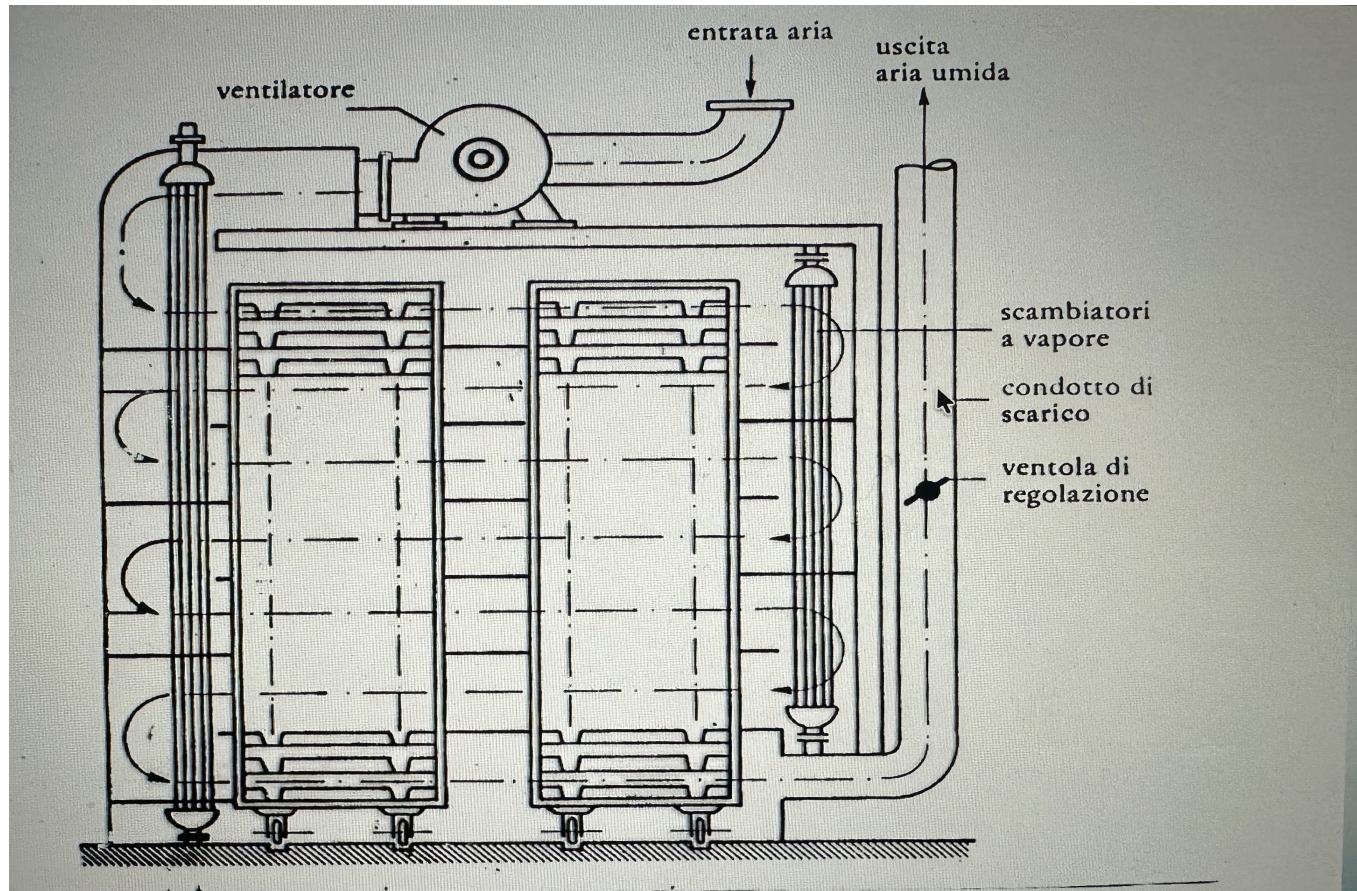
SCOMPOSIZIONE IN FASI

- TRASPORTO CONVETTIVO (FASE AD ANDAMENTO COSTANTE)
- TRASPORTO DIFFUSIVO (FASE AD ANDAMENTO RALLENTATO)



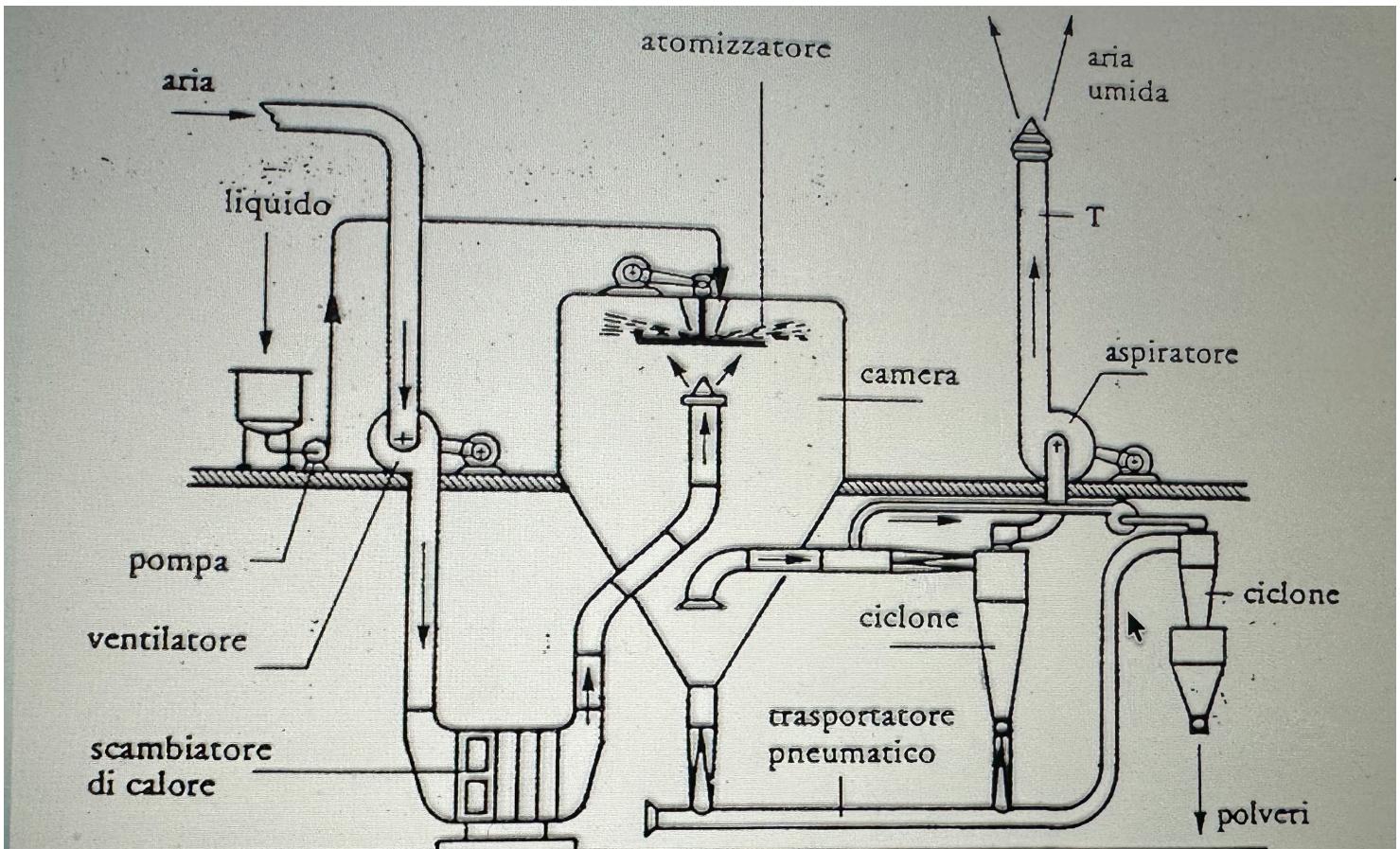
TIPOLOGIE DI ESSICCATORI PER CARATTERISTICHE E TRASMISSIONE DI CALORE

- ESSICCATORI PER MATERIALI A CONTATTO CON SUPERFICI SOLIDE (TRASMISSIONE DI CALORE O PER CONVEZIONE O CONDUZIONE)



TIPOLOGIE DI ESSICCATORI PER CARATTERISTICHE E TRASMISSIONE DI CALORE

- ESSICCATORI PER MATERIALI SOSPESI IN UN FLUIDO
(TRASMISSIONE DI CALORE SOLO PER CONVEZIONE)



CARTE PSICROMETRICHE

UTILIZZO DEL DIAGRAMMA

LE CARTE PSICROMETRICHE PERMETTONO DI:

- DETERMINARE LE PROPRIETÀ DELL'ARIA (TEMPERATURA, UMIDITÀ, ENTALPIA)
- SEGUIRE LE TRASFORMAZIONI DELL'ARIA DURANTE L'ESSICCAMENTO
- CALCOLARE IL POTERE ESSICCANTE DELL'ARIA
- DIMENSIONARE GLI IMPIANTI

LETTURA DI UN DIAGRAMMA

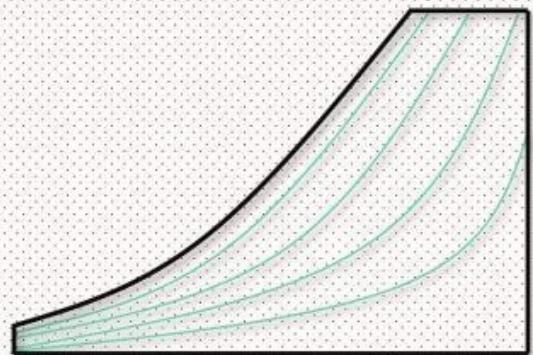
ASSI PRINCIPALI:

- ASSE ORIZZONTALE: TEMPERATURA DEL BULBO SECCO ($^{\circ}\text{C}$)
- ASSE VERTICALE (DESTRO): UMIDITÀ ASSOLUTA (KG ACQUA/KG ARIA SECCA)

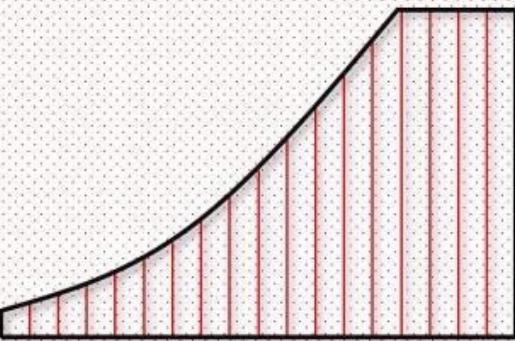
CURVE CARATTERISTICHE:

- CURVE DI UMIDITÀ RELATIVA COSTANTE (DA 0% A 100%)
- CURVE DI ENTALPIA COSTANTE (LINEE OBLIQUE)
- CURVA DI SATURAZIONE ($\text{UR} = 100\%$)
- CURVA DI TEMPERATURA A BULBO UMIDO

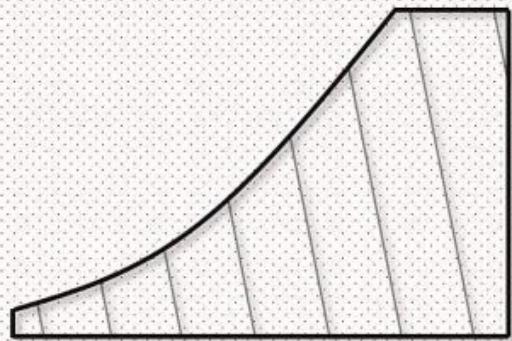
DIAGRAMMA PSICROMETRICO



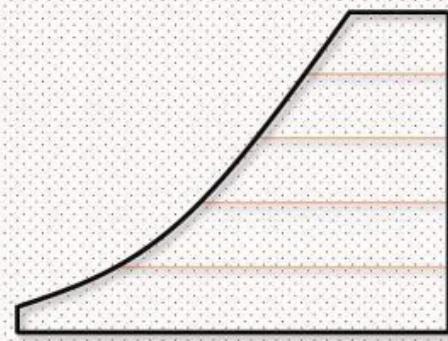
Umidità relativa (UR)



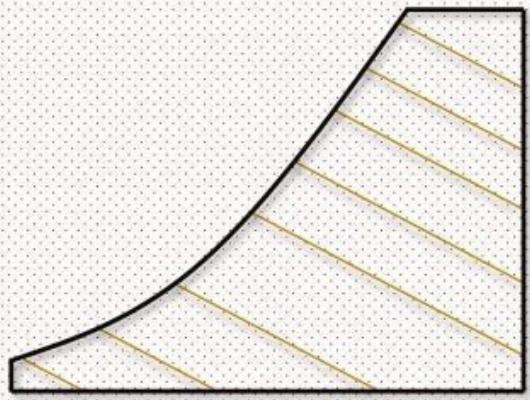
Temperatura a bulbo secco (TS)



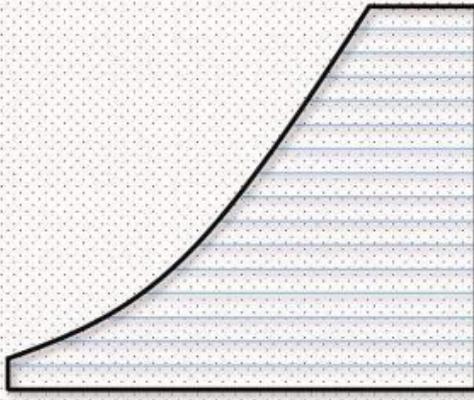
Volume specifico (V_{sp})



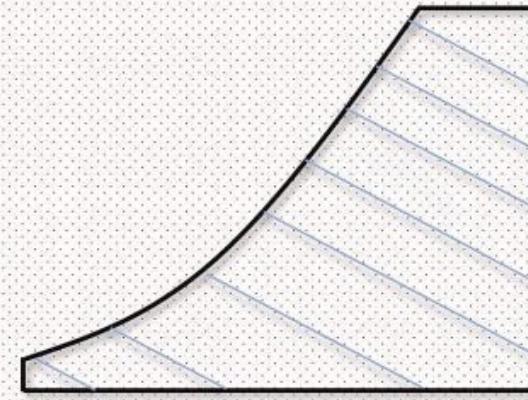
Temperatura al punto di rugiada (PR)



Temperatura a bulbo umido (TH)



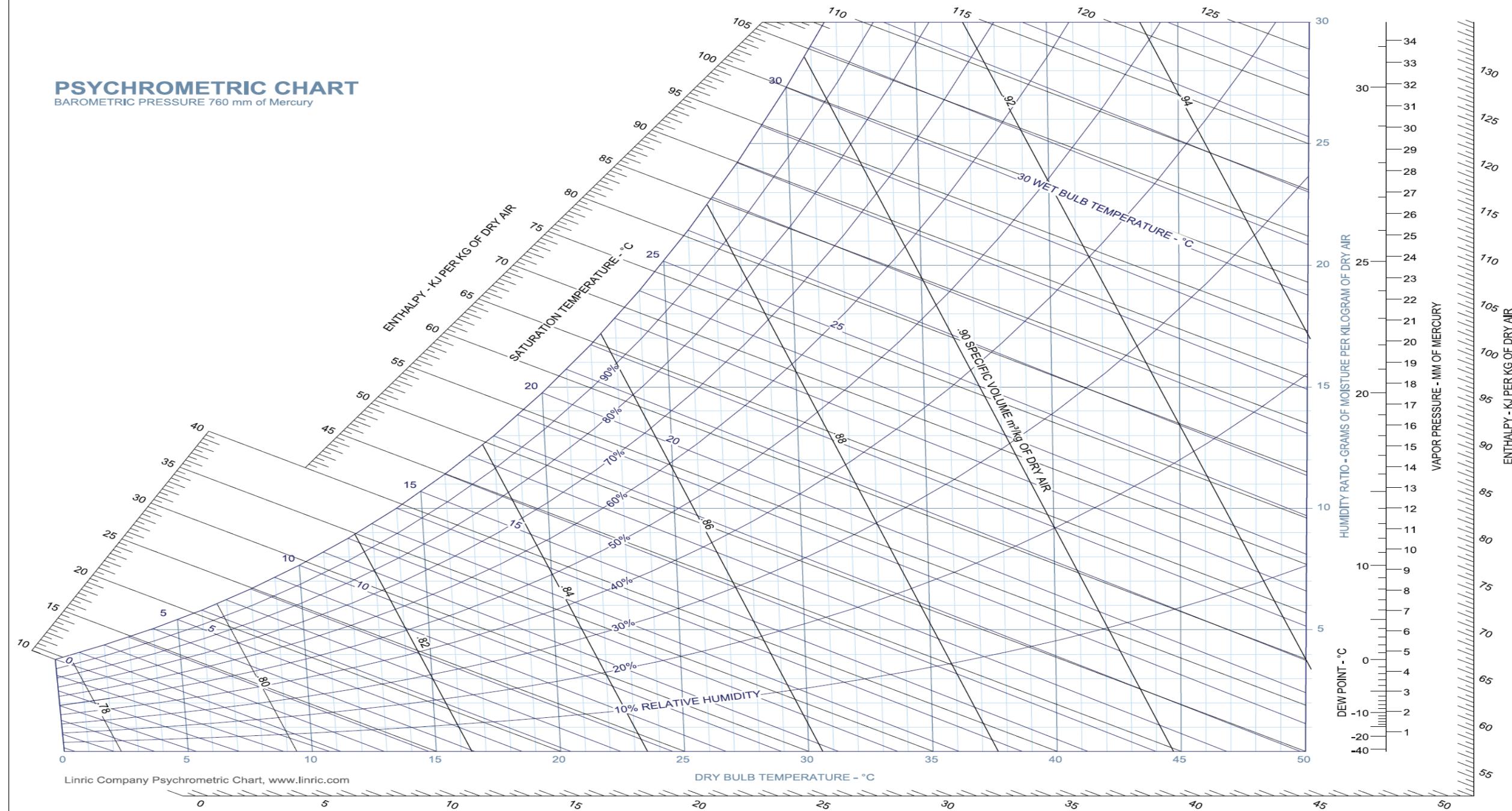
Umidità assoluta (X)

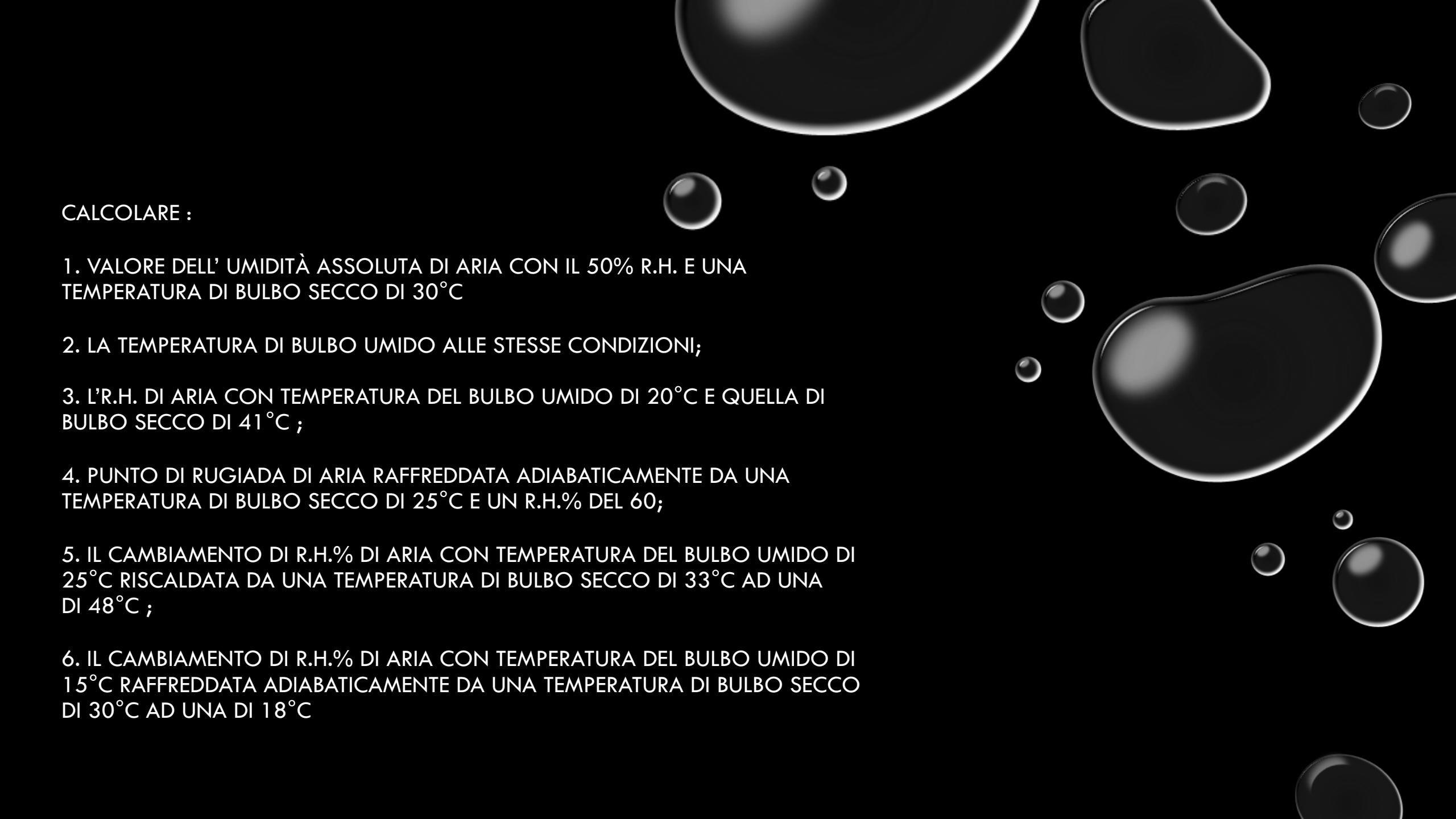


Entalpia (H)

PSYCHROMETRIC CHART

BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury





CALCOLARE :

1. VALORE DELL' UMIDITÀ ASSOLUTA DI ARIA CON IL 50% R.H. E UNA TEMPERATURA DI BULBO SECCO DI 30°C
2. LA TEMPERATURA DI BULBO UMIDO ALLE STESSE CONDIZIONI;
3. L'R.H. DI ARIA CON TEMPERATURA DEL BULBO UMIDO DI 20°C E QUELLA DI BULBO SECCO DI 41°C ;
4. PUNTO DI RUGIADA DI ARIA RAFFREDDATA ADIABATICAMENTE DA UNA TEMPERATURA DI BULBO SECCO DI 25°C E UN R.H.% DEL 60;
5. IL CAMBIAMENTO DI R.H.% DI ARIA CON TEMPERATURA DEL BULBO UMIDO DI 25°C RISCALDATA DA UNA TEMPERATURA DI BULBO SECCO DI 33°C AD UNA DI 48°C ;
6. IL CAMBIAMENTO DI R.H.% DI ARIA CON TEMPERATURA DEL BULBO UMIDO DI 15°C RAFFREDDATA ADIABATICAMENTE DA UNA TEMPERATURA DI BULBO SECCO DI 30°C AD UNA DI 18°C

1

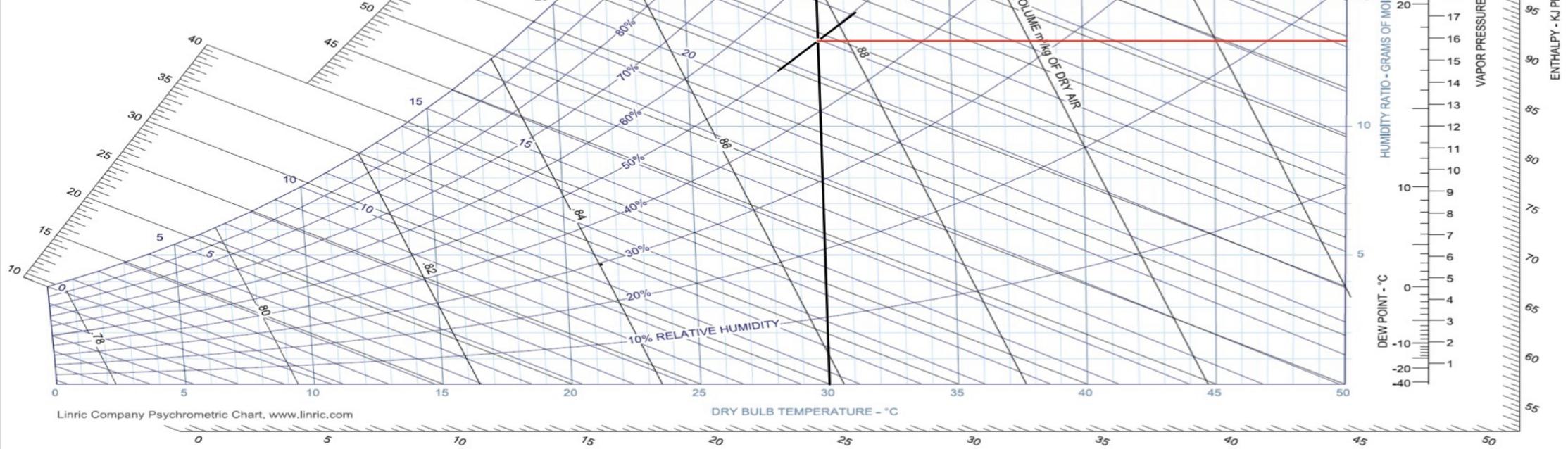
PSYCHROMETRIC CHART
BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury

T B. SECCO : 30°C

H.R = 50 %

UMIDITÀ ASSOLUTA = $13,2 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$

Kg



2

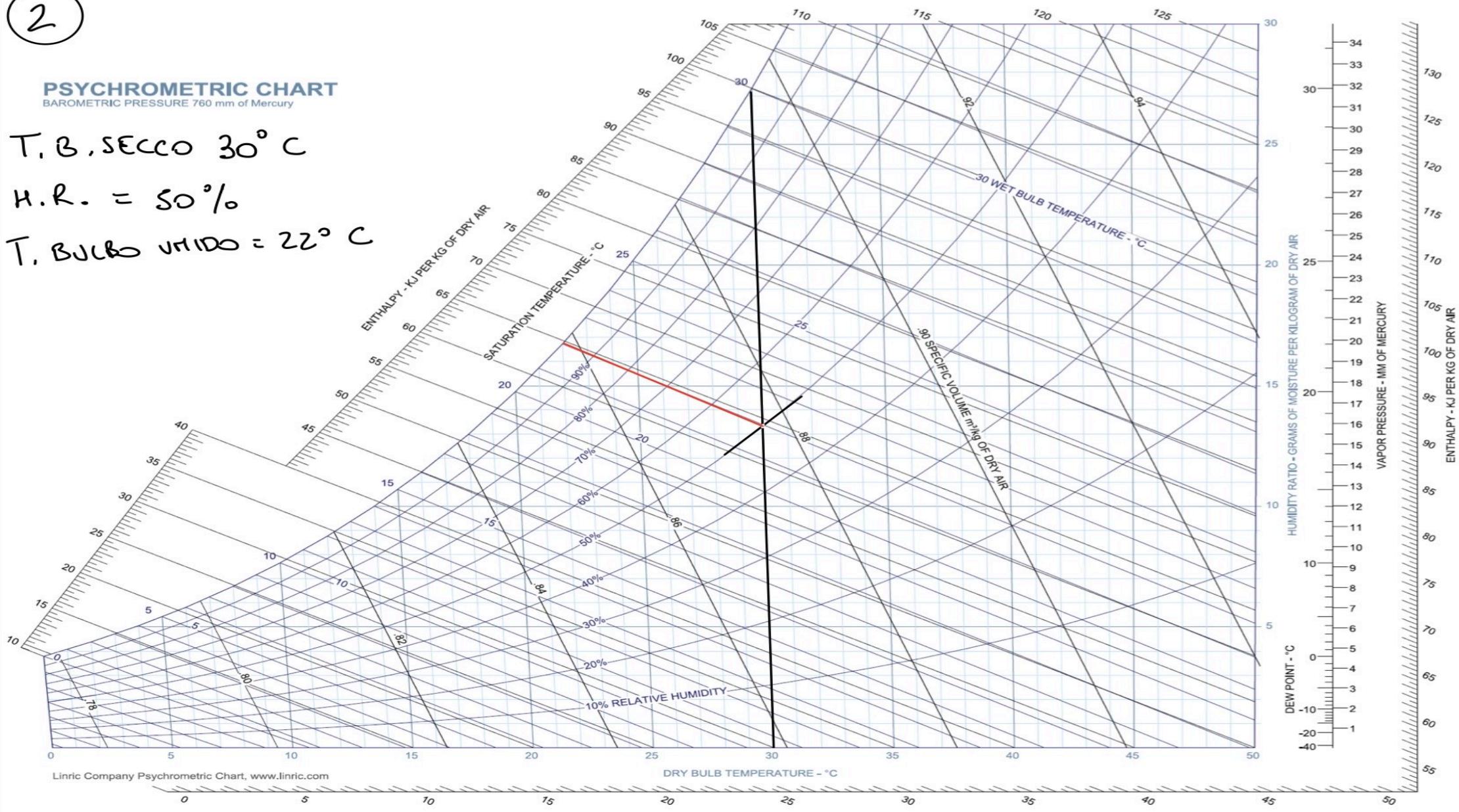
PSYCHROMETRIC CHART

BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury

T.B. SECCO 30° C

$$H.R. = 50\%$$

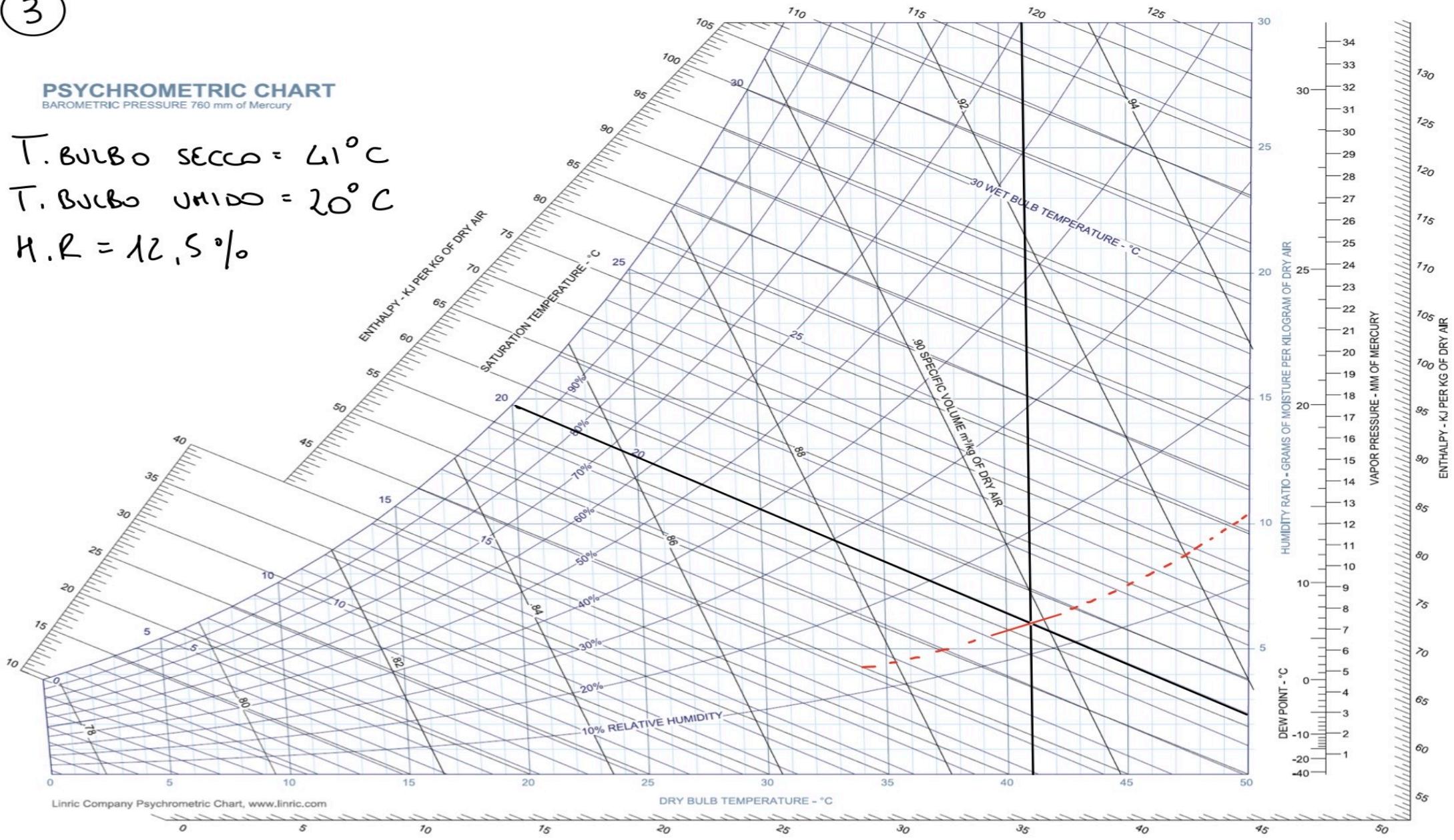
T, BJCBO VARIO = 22° C



3

PSYCHROMETRIC CHART
BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury

$$\begin{aligned} T_{\text{BULBO SECCO}} &= 61^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{BULBO UMIDO}} &= 20^{\circ}\text{C} \\ H.R. &= 12,5 \% \end{aligned}$$



4

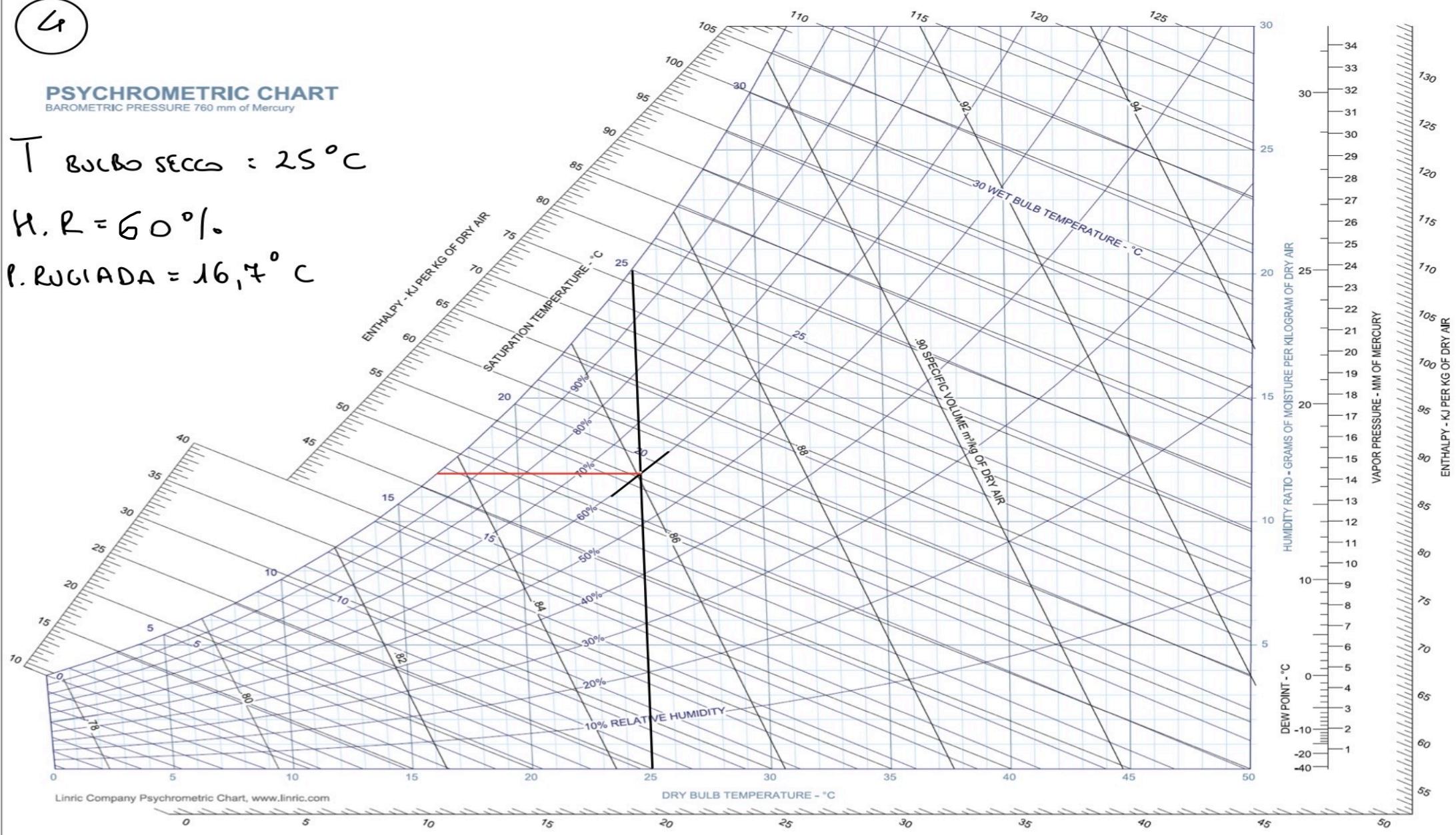
PSYCHROMETRIC CHART

BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury

$$T_{\text{BULB SECC}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$H.R. = 60\%$$

$$P_{\text{RUGIADA}} = 16,7^{\circ}\text{C}$$



5

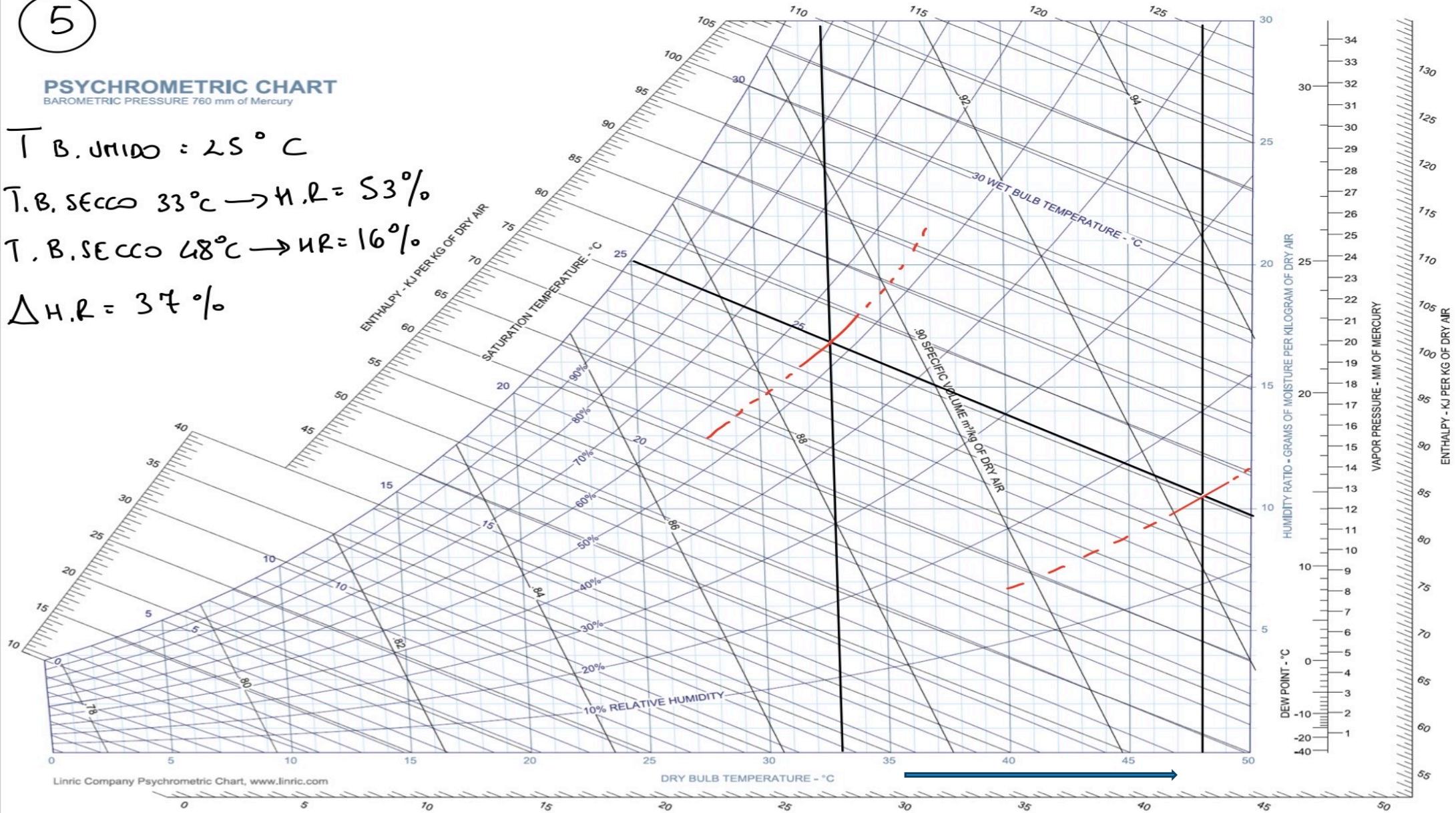
PSYCHROMETRIC CHART
BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury

$$T_{B, \text{UMDO}} = 25^\circ C$$

$$T_{B, \text{SECCO}} = 33^\circ C \rightarrow HR = 53\%$$

$$T_{B, \text{SECCO}} = 48^\circ C \rightarrow HR = 16\%$$

$$\Delta HR = 37\%$$



6

PSYCHROMETRIC CHART

BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury

$$T_{B, Umido} = 15^\circ C$$

$$T_{B, Secco} = 30^\circ C \rightarrow H.R. = 17\%$$

$$T_{B, Secco} = 18^\circ C \rightarrow H.R. = 73\%$$

Raffreddando l'HR aumenta

$$\Delta HR = 56\%$$

