

ANALISI EXERGETICA

L'EXERZIA DA' LA POSSIBILITA' DI CONFRONTARE IN MODO RAZIONALE LE VARIE FORME DI ENERGIA (IL 1° PRINCIPIO METTE IN RELAZIONE LE VARIE FORME DI ENERGIA COME SE FOSSERO TUTTE UGUALI) DISTINGUENDOLE. INOLTRE TIENE CONTO DELLE RELAZIONI CON L'AMBIENTE ESTERNO (BIOSFERA)

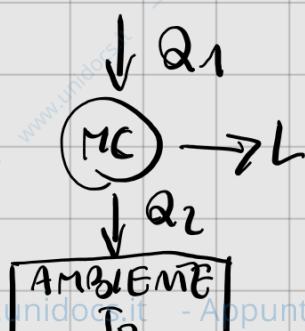
L'EXERZIA È LA MAX Q.TÀ DI LAVORO CHE PUÒ ESSERE OTTENUTA DA UNA QUALUNQUE FORMA DI ENERGIA UTILIZZANDOLA COMPLETAMENTE ALL'INTERNO DI UN DISPOSITIVO CHE INTERAGISCE SOLO CON LA BIOSFERA

VALUTA QUINDI LA TRASFORMABILITÀ IN LAVORO MASSIMO (QUINDI SI CONSIDERA UN DISPOSITIVO IDEALE) DI UNA QUALSIASI FORMA DI ENERGIA IN MODO COMPLETO.

ESEMPIO

QUANTITÀ DI CALORE DISPONIBILE A UNA TEMPERATURA T_1
 $Q_1 = 10 \text{ MJ}$
 $T_1 = 500^\circ \text{C}$

IL DISPOSITIVO IDEALE PER TRASFORMARE CALORE IN LAVORO È LA MACCHINA DI CARNOT. ESSA DEVE INTERAGIRE SOLO CON LA BIOSFERA, QUINDI IL CALORE NON TRASFORMATO IN LAVORO È RILASCIATO VERSO L'ESTERNO A TEMPERATURA $T_0 = 20^\circ \text{C}$

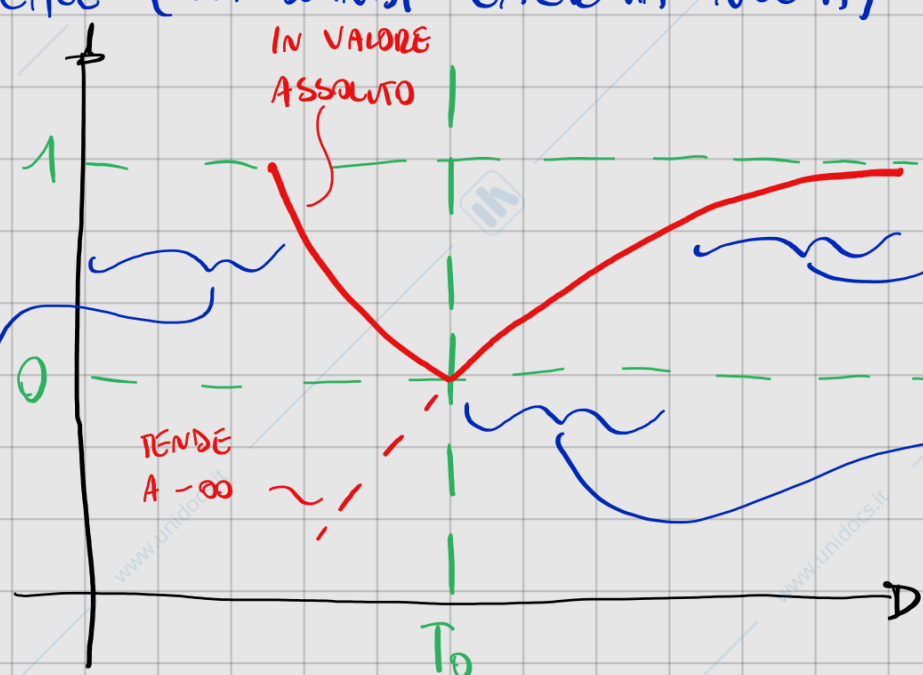


$$L = Q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right) = 6,2 \text{ MJ}$$

$$Q_2 = 10 - 6,2 = 3,8 \text{ MJ}$$

EXERZIA DI QUESTA Q.TÀ DI CALORE

Q_2 È DISPONIBILE ALLA TEMPERATURA T_0 E CHE NON PUÒ ESSERE CONVERTITO IN LAVORO NEMMENO IN UNA MACCHINA IDEALE (HA QUINDI ENTALPIA NULLA)



A T PIÙ ALTE IL CALORE È TRASFORMABILE SEMPRE PIÙ IN LAVORO

A T PIÙ BASSE LA STESSA Q.TA' DI CALORE È MENO TRASFORMABILE IN LAVORO

TANTO PIÙ LA T È PIÙ BASSA DI T_0 TANTO PIÙ IL CALORE È TRASFORMABILE IN LAVORO

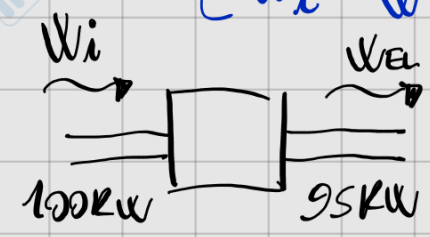
IL LAVORO MASSIMO È DEFINITO COME

$$L_{MAX} = L_U + L_{PERSO} \Rightarrow W_{MAX} = W_U + W_{PERSA}$$

LA POTENZA UTILE È SOLO UNA PARTE DELLA POTENZA PRODOTTA $\Rightarrow W_E = W_U + W_S$

$W_S < 0$
 W_E SOMMA ALGEBRICA TRA W ENTRANTE E W USCENTE

NEL CASO DELL'INVERTER



$$W_E = W_{eL} - |W_{iL}|$$

$$\hookrightarrow W_E = -5W$$

$$\sum_{j=1}^N \Phi_j - W_t - W_o = \frac{\partial}{\partial t} (U + E_c + E_p)_{vc} + \sum_{k=1}^{NC} \dot{G}_k (h + e_p + e_c)$$

} NUMERO DI COMPONENTI
SPECIFICI

1° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

$\sum_{j=1}^N \Phi_j$ } FLUSSI TERMICI SCAMBIATI CON N TERMOSTATI. POSITIVO SE ENTRANTE NEGATIVO SE USCENTE

W_t } POTENZA TECNICA. POSITIVA SE USCENTE NEGATIVA SE ENTRANTE

W_o } POTENZA DI DILATAZIONE, CHE PUO' ESSERE OTTENUTA TRAMITE LA DILATAZIONE DEL SISTEMA, SE ESPANDIBILE. QUANDO UN VOLUME ESPANDE SI VA CONTRO LA PRESSIONE ESTERNA CHE PRODUCE UNA FORZA

$W_o = p_o \frac{\partial V}{\partial t}$ } ESTENSIVA, NON v

UN SERBATOIO CHE SI RIEMPIE NON MODIFICA IL SUO VOLUME (NON SI DILATA)

U (LEGATA ALLA T DEL SISTEMA), E_c (LEGATA ALLA v DEL SISTEMA), E_p (LEGATA ALLA QUOTA DEL SISTEMA). SONO VALUTE IN BASE ALLA LORO VARIAZIONE NEL TEMPO.

\dot{G}_k POSITIVA SE USCENTE, NEGATIVA SE ENTRANTE

$$\left. \begin{aligned} U^t &= U + E_c + E_p \\ h^t &= h + e_p + e_c \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sum_{j=1}^N \Phi_j - W_t - W_o = \frac{\partial U^t}{\partial t} + \sum_{i=1}^{NC} \dot{G}_k h_k^t$$

$$\left. \begin{aligned} W_t &= W_u + W_s \\ W_o &= p_o \frac{\partial v}{\partial t} \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \sum \Phi_j - W_u - W_s = \frac{\partial}{\partial t} (U^t + p_o v) + \sum \dot{G}_k h_k^t$$

$$W_{max} = W_u + W_{PERSA} \Rightarrow W_u = W_{max} - W_{PERSA}$$



$$\Rightarrow \sum \Phi_S - W_{max} + W_{PERSA} - W_s = \frac{\partial}{\partial t} (U^t + P_0 V) + \sum_{k=1}^{NC} C_k h_k^t$$

$$W_{PERSA} = \Psi = T_0 \sum_i i$$

TEMPERATURA BIOSFERA

TASSO DI GENERAZIONE DI ENTROPIA

TEOREMA DI STODOLA

$$\sum \frac{\Phi_S}{T_S} + \sum_i i = \left(\frac{\partial S}{\partial t} \right)_{vc} + \sum_{k=1}^{NC} C_k \Delta_k$$

SPECIFICA

SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

TEMPERATURA DELLA FONTE CON CUI SI SCAMBIA CALORE

$\sum_i i$: TASSO DI GENERAZIONE DI ENTROPIA, SEMPRE ≥ 0 . VALE 0 SOLO SE IDEALE. NON È UNA GRANDEZZA DI STATO MA DIPENDE DAL PROCESSO

$\frac{\partial S}{\partial t}$ PUÒ ESSERE SIA POSITIVO SIA NEGATIVO. PUÒ ESSERE SOLO POSITIVO SOLO SE IL SISTEMA È ISOLATO. È UNA VARIABILE DI STATO

$$\sum \frac{\Phi_S}{T_S} + \sum_i i = \left(\frac{\partial S}{\partial t} \right)_{vc} + \sum_{k=1}^{NC} \Delta_k C_k$$

$$\Psi = \sum T_0 \Rightarrow \Psi = T_0 \left(\frac{\partial S}{\partial t} \right)_{vc} + T_0 \sum_{k=1}^{NC} C_k \Delta_k - \sum \frac{\Phi_S T_0}{T_S}$$

positivo > 0

DA 1° PRINCIPIO $\sum \dot{Q}_S - W_{\max} + \dot{\Psi} - W_S = \frac{\partial}{\partial t} (U + P_0 V) + \sum_{nc} \dot{G}_k h_k^t$

$\Rightarrow -W_{\max} + \sum \dot{Q}_S \left(1 - \frac{T_0}{T_S}\right) - W_S = \frac{\partial}{\partial t} (U + P_0 V - T_0 S) + \sum \dot{G}_k (h_k^t - T_0 s_k) \Rightarrow$

$\Rightarrow W_{\max} = -W_S + \sum \dot{Q}_S \left(1 - \frac{T_0}{T_S}\right) - \frac{\partial}{\partial t} (U + P_0 V - T_0 S) - \sum \dot{G}_k (h_k^t - T_0 s_k)$

LAVORO MAX ESTRAIBILE DA UNA FONTE DI ENERGIA

W_S È L'UNICO COMPONENTE CONVERTIBILE AL 100% IN W_{\max}

$\sum \dot{Q}_S \left(1 - \frac{T_0}{T_S}\right)$ CONVERTIBILE COMPLETAMENTE SOLO SE $T_S \rightarrow \infty$ (QUINDI IN REALTÀ IMPOSSIBILE)

$\frac{\partial}{\partial t} (U + P_0 V - T_0 S)$ PARTE ENERGETICA DATA DAL RAFFREDDAMENTO DEL SISTEMA E DAL LAVORO DI DILATAZIONE. NON PUÒ ESSERE CONVERTIBILE IN W A CAUSA DELLA COMPONENTE ENTROPICA

$\sum \dot{G}_k (h_k^t - T_0 s_k)$ LA COMPONENTE ENERGETICA DI UNA PORTATA ESPRIMIBILE DALL'ENTALPIA. NON È CONVERTIBILE COMPLETAMENTE A CAUSA DELLA COMPONENTE ENTROPICA

L'EXERZIA QUINDI (W_{\max}) È UNA COMBINAZIONE TRA 1° E 2° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA, IN BASE ALLE CONDIZIONI AMBIENTE, PER VALUTARE LA CONVERTIBILITÀ IN LAVORO DI UNA FONTE ENERGETICA

L'EQUAZIONE DELL'ENERGIA UTILE INVECE È DATA DA 1° PRINCIPIO - T_0 2° PRINCIPIO

$T_0 \sum_{k=1}^N$

$$\sum_{s=1}^N \Phi_s \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) - W_t = \frac{\partial}{\partial t} \left(U^t + P_0 V - T_0 S \right)_{vc} + \sum_{k=1}^N G_k (h^t - T_0 \Delta_k) + \Psi$$

EQUAZIONE DELL'ENERGIA UTILE

$$U + P_0 V - T_0 S = C \rightarrow U^t + P_0 V - T_0 S = C^t$$

$$U_0 + P_0 V_0 - T_0 S_0 = C_0$$

→ NON ESISTE C_0^t PERCHÉ QUOTA E VELOCITÀ SONO RELATIVE ALL'AMBIENTE QUINDI VELOCITÀ E QUOTA DELL'AMBIENTE, RISPETTO ALL'AMBIENTE, SONO NULLI

C_0 È COSTANTE QUINDI PUÒ ENTRARE NELLA DERIVATA

$$\frac{\partial C^t}{\partial t} = \frac{\partial (C^t - C_0)}{\partial t} \left\{ \begin{array}{l} \text{EVIDENZA CHE SE C'È UNO SCOSTAMENTO} \\ \text{DALLE CONDIZIONI AMBIENTE, ESSO SI} \\ \text{PUÒ TRASFORMARE IN LAVORO} \end{array} \right.$$

$$\frac{\partial (C^t - C_0)}{\partial t} = \frac{\partial A^t}{\partial t} \quad \text{ENERGIA INTERNA UTILIZZABILE}$$

CONSIDERANDO $(h^t - T_0 \Delta)_k$ SOMMANDO E SOTTRAENDO $(h_0 - T_0 \Delta_0)_k$

$$\left[h^t - h_0 - T_0 (\Delta - \Delta_0) \right]_k + (h_0 - T_0 \Delta_0)_k$$

A^t ENERGIA FISICA DEL K-ESIMO FLUIDO
(DIFFERENZA TRA CONDIZIONI FISICHE RISPETTO A QUELLO AMBIENTE)

Ψ ENERGIA CHIMICA DEL K-ESIMO FLUIDO
(È UNA FUNZIONE DI STATO DETTA ANCHE ENERGIA LIBERA DI GIBBS)

EQUAZIONE DELL'ENERGIA UTILE

$$\sum_{s=1}^N \Phi_s \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) - W_t = \left(\frac{\partial A^t}{\partial t} \right)_{vc} + \sum_k G_k h_k^t + \sum_k G_k \Psi_k + \Psi$$

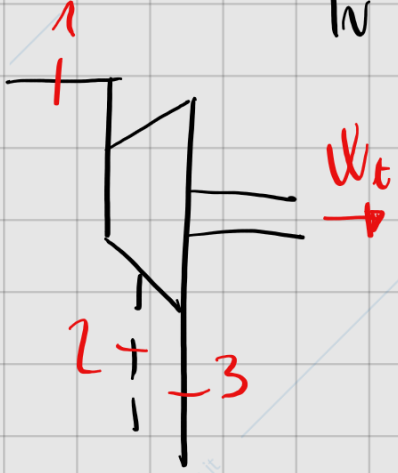
www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

18/10/22

ESEMPIO

TURBINA ADIABATICA CON UNO SPILLAMENTO IN REGIME STAZIONARIO



ADIABATICO $\Rightarrow \Phi \left(1 - \frac{T_0}{T_3} \right) = 0$

STAZIONARIO $\Rightarrow \frac{\partial A^t}{\partial t} = 0$

VC DI TUTTA LA TURBINA $\Rightarrow b^t \equiv b$

NON CI SONO MODIFICHE DI COMPOSIZIONE CHIMICA

$\Rightarrow \sum_{nc} h_{R} z_{OR} = 0$

OGNI VOLTA CHE UN FLUIDO ENTRA ED ESCE DA UN VC SENZA CAMBIARE COMPOSIZIONE CHIMICA LA SUA EXERZIA CHIMICA E' 0! LA COMPOSIZIONE CHIMICA NON VA DIFER PER FORZA COMBUSTIONE DATO CHE SE ENTRA OSSIGENO E AZOTO ED ESCE ARIA L'EXERZIA CHIMICA $\neq 0$! **NEI**

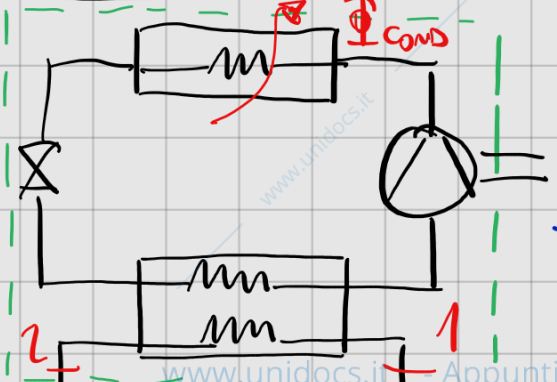
PASSAGGI DI STATO L'EXERZIA CHIMICA E' NULLA

~~$\Phi \left(1 - \frac{T_0}{T_3} \right) - W_t = \frac{\partial A^t}{\partial t} + \sum_{nc} h_{R} z_{OR} + \sum_{nc} h_{K} z_{OR} + \Psi \Rightarrow$~~

$\Rightarrow -W_t = h_3 b_3 + h_2 b_2 - h_1 b_1 + \Psi$

ESEMPIO

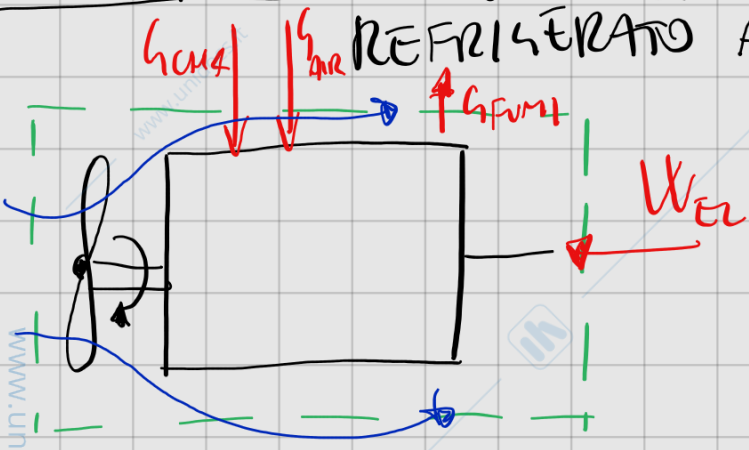
POMPA DI CALORE GEOTERMICA (CALORE RILASCIATO IN STANZA)



$\Phi \left(1 - \frac{T_0}{T_{STANZA}} \right) + W_{el} = h_2 b_2 - h_1 b_1 + \Psi$

T_2 E T_1 SONO DIVERSE QUINDI $b_2 \neq b_1$

ESEMPIO MOTORE INTERNO A COMBUSTIONE INTERNA
REFRIGERATO AD ARIA A TEMPERE



ESSENDO DIFFICILE VALUTARE LA PORTATA DI ARIA USCENTE ASPIRATA DALLA VENTOLA CON LE RELATIVE CONDIZIONI DATO CHE NON CI SONO

LIMITAZIONI FISICHE COME TUBI. PER QUESTO MOTIVO INVECE DI VALUTARE LA h_{out} E LA h_{in} DEL FLUSSO D'ARIA SI PUO' CONSIDERARE UN FLUSSO TERMICO DISPERSO CHE RAPPRESENTI LA STESSA SITUAZIONE

$$|\dot{\Phi}_{disp}| \left(1 - \frac{T_0}{T_0}\right) + |W_{el}| = \dot{h}_{fumi} b_{fumi} - \dot{h}_{cmb} b_{cmb} - \dot{h}_{ar} b_{ar} + \dot{h}_{fumi} \gamma_{fumi} - \dot{h}_{cmb} \gamma_{cmb} - \dot{h}_{ar} \gamma_{ar} + \dot{q}$$

IL FLUSSO DISPERSO C'È, LA SUA EXERZIA È NULLA DATO CHE LA SORRENTE CON CUI IL SISTEMA SCAMBIA \dot{Q} È L'AMBIENTE A T_0

DATO CHE METANO E ARIA SONO ENTRANTI NEL VC IN CONDIZIONI AMBIENTE P_0 E T_0 (MENTRE I FUMI NO)

PER LA VALUTAZIONE DELL'EXERZIA CHIMICA SI ENTRA IN TABELLA FACENDO RIFERIMENTO ALLA REAZIONE CHIMICA OPPURE, COME PER L'ENTALPIA, SI USA IL POTERE CALORIFICO

	ANALISI ENERGETICA	ANALISI EXERGETICA
ARIA	$h_0 = 0$	$\gamma_0 = 0$
FUMI	$h_0 = 0$	$\gamma_0 = 0$
COMBUST.	$h_0 = H_i$	$\gamma_0 = f(H_i)$

SI USA IL H_i PERCHÉ NON SI SA IN QUANTE Q.TÀ CI SONO I COMPOSTI CHE CI SONO DENTRO IL COMBUSTIBILE MA SI SA PRECISAMENTE LA Q.TÀ TOTALE DI OGNI ELEMENTO (ESEMPIO COMBUSTIONE SUL QUADERNO)

$$y_0 = h_0 - T_0 s_0 = g_0 \left[\frac{KJ}{kg} \right] \rightarrow \text{ESTENSIVA } G \left[KJ \right]$$

ENERGIA LIBERA DI GIBBS (VARIABILE DI STATO)

$$\Delta G = \sum_{\text{REAZ}} G_i - \sum_{\text{REAGENTI}} G_i$$
 IN AMBITO CHIMICO SI USA PER VEDERE SE UNA REAZIONE È SPONTANEA, IMPOSSIBILE O IN EQUILIBRIO

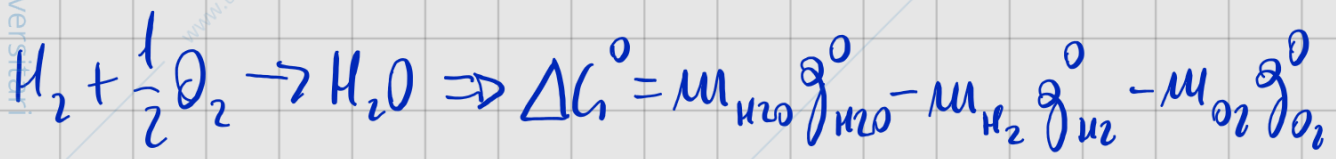
RIFERENDO ΔG ALLE CONDIZIONI STANDARD (25°C - 1atm)

$$\Delta G^0 = \sum_{\text{PRODOTTI}} G_i^0 - \sum_{\text{REAGENTI}} G_i^0 \Rightarrow \Delta G^0 = \sum_{\text{PRODOTTI}} m_i g_i^0 - \sum_{\text{REAGENTI}} m_i g_i^0$$

$$\Delta G^0 = \sum_{\text{PRODOTTI}} m_i \bar{g}_i^0 - \sum_{\text{REAGENTI}} m_i \bar{g}_i^0$$

PER OGNI REAZIONE È NOTA E TABULATA RISPETTO ALLE CONDIZIONI STANDARD

DOVE m_i E M_i SONO MASSE E MOLI COINVOLTI NELLA REAZIONE E \bar{g}_i^0 ENERGIA LIBERA DI GIBBS STANDARD MOLARE



CONSIDERANDO LE CONDIZIONI STANDARD \approx CONDIZIONI DELLA BIOSFERA

$$\Delta G \approx \Delta G_0$$

$$\Rightarrow \Delta G_0 = m_{H_2O} \gamma_{OH_2O} - m_{H_2} \gamma_{OH_2} - m_{O_2} \gamma_{OO_2}$$

NOTE 2 EXERPIE CHIMICHE E NOTO IL $\Delta G \approx \Delta G_0$ SI PUÒ RICAVERE LA TERZA EXERPIA CHIMICA. PER DEFINIRE L'EXERPIA CHIMICA DELLE 2 GRANDEZZE NOTE, ESSENDO

L'EXERZIA LIBERA DI GIBBS UNA VARIABILE DI STATO, ESSA È DEFINITA A MENO DI UNA COSTANTE, LA CUI DEFINIZIONE È LIBERA. SCEGLIENDO UN VALORE DI RIFERIMENTO SU CUI DEFINIRE L'EXERZIA CHE SEGUE DELLE REGOLE, IL RISULTATO DI IRREVERSIBILITÀ CHE SI OTTIENE NON CAMBIA. LE REGOLE SONO:

— SCEGLIERE COME EXERZIA DI RIFERIMENTO DI UN SINGOLO ELEMENTO L'EXERZIA DI UN COMPOSTO IN CUI È PRESENTE L'ELEMENTO È PER CASCUNO DI ESSI SCEGLIERE A CASO IL VALORE DI EXERZIA. I VALORI DI EXERZIA OTTENUTI DA UNA REAZIONE DEVONO ESSERE CALCOLATI IN BASE AL RIFERIMENTO DATO

$C \rightarrow CO_2$	} UN COMPOSTO PUÒ ESSERE ASSOCIATO SOLO AD UN ELEMENTO. H_2O È RIFERITO AD H E QUINDI NON PUÒ ESSERE ASSOCIABILE ANCHE ALL'OSSIGENO DI CUI È ANCHE COMPOSTO
$H \rightarrow H_2O$	
$O \rightarrow O_2$	
$N \rightarrow N_2$	

IL RICALCOLO DELL'AMBIENTE DI RIFERIMENTO È CONSIGLIATO QUANDO LE CONDIZIONI NON SONO COMUNI (DI CUI SI HANNO I RIFERIMENTI IN TABELLA) E IN CUI LE RISORSE SONO PRESENTI IN MANIERA DIVERSA RISPETTO ALL'AMBIENTE COMUNE

IN UN SISTEMA DI RIFERIMENTO CA' STRUTTURATO

$y_o = 0$
ARIA

PER LE MISCELE DI GAS (ES. ARIA):

ESTRAENDO IN MODO REVERSIBILE I VARI GAS CHE FORMANO L'ARIA DA ESSA, BISOGNA COMPRIMERE OGNUNO DI ESSI DALLA PROPRIA PRESSIONE PARZIALE NELL'ARIA ALLA PRESSIONE TOTALE

$$l_c = - \int_{P_i}^{P_0} v dp = - \int_{P_i}^{P_0} \frac{R^* T_0}{P} dp = -R^* T_0 \ln \frac{P_0}{P_i} = R^* T_0 \ln \frac{P_i}{P_0} = R^* T_0 \ln y_i$$

$R^* T_0 \ln y_i$ | LAVORO PER COMPRIMERE UN GAS DALL'ARIA PER AVERLO DA SOLO

L'OPPOSTO RAPPRESENTA IL LAVORO OTTENIBILE DA UN GAS CHE PASSA DA SINGOLO IN SOLUZIONE, QUINDI EXERGHIA.

$$l_t = -R^* T_0 \ln y_i$$

QUINDI NEL CASO DI UN ELEMENTO CHE COMPONE L'ARIA, SI CALCOLA LA SUA EXERGHIA TRAMITE l_t E POI IN BASE A QUEL VALORE SI PUO' VALUTARE IL VALORE DEGLI ALTRI COMPOSTI IN UN'EVENTUALE REAZIONE.

QUESTO SI USA QUANDO VENGONO FORNITE LE COMPOSIZIONI IN MODO TALE DA POTER TROVARE LE y_i