

## APPENDICE 5

### **Altezza effettiva di rilascio delle emissioni dalle torce di combustione e/o dai motori di recupero energetico della discarica**

L'altezza effettiva di rilascio delle emissioni dalle torce e/o dai motori della discarica viene calcolata mediante la seguente espressione:

$$h_e = h_{\text{motori/torce}} + \Delta h \quad [\text{A5.1}]$$

dove:

$h_{\text{motori/torce}}$  è l'altezza dei camini di emissione dalla torce e/o dai motori;

$\Delta h$  è definita come innalzamento verticale del pennacchio.

Il  $\Delta h$  dipende dal fatto che l'inquinante emesso possiede una temperatura molto più elevata rispetto all'aria circostante (galleggiamento termico) oppure una velocità alla sorgente non nulla (quantità di moto). In entrambi i casi, l'inquinante tende rapidamente a salire lungo la verticale (diverse decine di metri a seconda dei casi) in modo compatto, e solo successivamente, una volta esaurito la spinta, inizia a diffondere ad opera delle azioni esercitate dal campo fluido-dinamico nel quale è immerso. In pratica, è come se il camino fosse più alto rispetto a quello effettivamente presente. Di tale fenomeno (noto come plume-rise) viene tenuto conto considerando pertanto un'altezza aggiuntiva  $\Delta h$ , valutabile mediante formule empiriche, definita come l'innalzamento verticale del pennacchio (figura A5\_1).

Una delle espressioni valide per la determinazione di  $\Delta h$  è la seguente:

$$\Delta h = 2,6 \cdot \left[ \frac{F_b}{u_a s'} \right]^{1/3} \quad [\text{A5.2}]$$

dove:

$F_b$  flusso iniziale di galleggiamento ( $\text{m}^4\text{s}^{-3}$ );

$u_a$  velocità del vento mediata sull'altezza di ricaduta del plume ( $\text{ms}^{-1}$ );

s' parametro di stabilità ( $s_2$ ) derivabile dalla relazione:

$$s' = \frac{g}{s_2 o} \gamma \quad [A5.3]$$

dove:

- o temperatura potenziale dell'atmosfera (K);
- g accelerazione di gravità ( $\text{ms}^{-2}$ );
- $s_2$  parametro adimensionale che rappresenta l'effetto di ritardo dell'aria sul pennacchio, il quale è invece stato accelerato dal fenomeno di galleggiamento;
- $\gamma$  gradiente della temperatura potenziale dell'atmosfera ( $\text{Km}^{-1}$ ).

La temperatura potenziale dell'atmosfera può essere determinata da:

$$o = t_g \left( \frac{10^5}{P} \right)^{R/C_p} \quad [A5.4]$$

dove:

- $t_g$  temperatura dell'aria (K);
- P pressione (Pa)
- R costante dei gas pari a  $8,314 \text{ JKmol}^{-1}$ ;
- $C_p$  calore specifico a pressione costante ( $R/C_p = 0,286$ ).

Il flusso iniziale di galleggiamento  $F_b$  è determinato da:

$$F_b = \frac{gW}{\pi c_p P_a T_a} \quad [A5.5]$$

dove:

- g accelerazione di gravità ( $\text{ms}^{-2}$ );
- $c_p$  calore specifico dell'aria a pressione costante ( $\text{Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$ );
- $T_a$  temperatura dell'atmosfera (K),
- $P_a$  densità dell'atmosfera ( $\text{gm}^{-3}$ );
- W tasso di emissione di calore (W), il quale è ottenuto dalla:

$$W = V_{lfg} \left( \frac{CH_4 \%}{100\%} \right) \cdot \left( \frac{1}{V_m} \right) \cdot \frac{1}{3600} \cdot \Delta H_{CH_4} \quad [A5.6]$$

dove:

$V_{lfg}$  volume del biogas ( $m^3 h^{-1}$ );

$V_m$  volume molare ( $0,0224 m^3 mol^{-1}$ );

$CH_4\%$  percentuale di  $CH_4$  nel biogas;

$\Delta H_{CH_4}$  entalpia del metano, il calore rilasciato nella combustione da una mole di metano ( $890800 J mol^{-1}$  a  $298,15 K$ ).

La formazione del pennacchio termico riguarda la deviazione standard della distribuzione Gaussiana ( $\sigma_z$ ) attraverso la seguente equazione:

$$\sigma_z^2 = \sigma_{zD}^2 + \frac{r_p^2}{3} \quad [A5.7]$$

dove:

$\sigma_z$  deviazione standard della distribuzione Gaussiana verticale (m) (o coefficiente di dispersione verticale) dopo l'effetto del plume;

$\sigma_{zD}$  deviazione standard della distribuzione Gaussiana verticale (m) (o coefficiente di dispersione verticale);

$r_p$  raggio della distribuzione istantanea che dovrebbe essere pari a  $z_p/2$ , dove  $z_p$  è l'altezza di galleggiamento del plume (m).

Il valore di  $z_p$  è differente a seconda delle condizioni di stabilità atmosferica. La [A5.8] è valida per le condizioni stabili e neutrali/instabili:

$$z_p = \left[ \frac{3F_m x}{\beta u_a^2} + \frac{3F_b x^2}{2\beta^2 u_a^3} \right]^{1/3} \quad [A5.8]$$

Mentre l'equazione [A5.9] vale per le condizioni stabili:

$$z_p = \left[ \frac{3 \left( s'^{1/2} F_m \sin s'^{1/2} t + F_b \left( 1 - \cos s'^{1/2} t \right) \right)}{\beta^2 u_a s'} \right]^{1/3} \quad [A5.9]$$

dove:

- Fb flusso iniziale di galleggiamento ( $m^4 s^{-3}$ );  
 ua velocità del vento mediata sull'altezza di ricaduta del plume ( $ms^{-1}$ );  
 s' parametro di stabilità ( $s^{-2}$ ), derivato dalla [A5.3];  
 $\beta$  costante fissata pari a 0,6, determinata sulla base di dati sperimentali;  
 t tempo dopo il rilascio (s) determinato dal rapporto tra distanza di viaggio e velocità del vento;  
 x distanza dalla sorgente (m);  
 Fm flusso temporaneo della sorgente derivato dalla:

$$F_m = \pi \frac{\rho_o}{\rho_a} W_o V_o \quad [A5.10]$$

dove:

- $\rho_a$  densità dell'atmosfera ( $\square/m^3$ );  
 W<sub>o</sub> velocità di efflusso ( $ms^{-1}$ ), calcolata dalla [A5.13];  
 V<sub>o</sub> tasso di volume rilasciato ( $m^3 s^{-1}$ );  
 $\rho_o$  densità dell'emissione effluente ( $gm^{-3}$ ), determinata come segue:

$$\rho_o = \frac{(\rho_{LF} 1m^3)}{\left( \frac{1}{V_m RT} \right) \frac{P}{}} \quad [A5.11]$$

dove:

- R costante dei gas ( $8,314 JKmol^{-1}$ );  
 P pressione (Pa);  
 T temperatura della torcia (K);  
 V<sub>m</sub> volume molare ( $0,0224 m^3 mol^{-1}$ );  
 $\rho_{LF}$  densità del biogas ( $gm^{-3}$ ), determinata come segue:

$$\rho_{LF} = \frac{((CH_4 \% \times PM_{CH_4}) + (CO_2 \% \times PM_{CO_2}))}{V_m} \quad [A5.12]$$

dove:

- V<sub>m</sub> volume molare pari a  $2,241 \times 10^{-2} m^3 mol^{-1}$ ;  
 PM<sub>CH<sub>4</sub></sub> peso molecolare relativa del metano (g);

$PM_{CO_2}$	peso molecolare relativa dell'anidride carbonica (g);
$CH_4\%$	percentuale di $CH_4$ nel biogas;
$CO_2\%$	percentuale di $CO_2$ nel biogas.

La velocità di efflusso è data da:

$$W_o = \frac{V_o}{F_{xa}} \quad [A5.13]$$

dove:

$W_o$  velocità di effuso ( $ms^{-1}$ )

$V_o$  tasso di volume rilasciato ( $m^3s^{-1}$ ), calcolato usando la [A5.14]:

$$V_o = V_{LF} \cdot (AC + 1) \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{RT}{PV_m} \quad [A5.14]$$

dove:

$R$  costante dei gas pari a  $8,314 \text{ JKmol}^{-1}$ ;

$P$  pressione (Pa);

$T$  temperatura della torcia (K),

$V_m$  volume molare pari a  $0,0224 \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$ ,

$V_{LF}$  volume del biogas ( $m^3h^{-1}$ ),

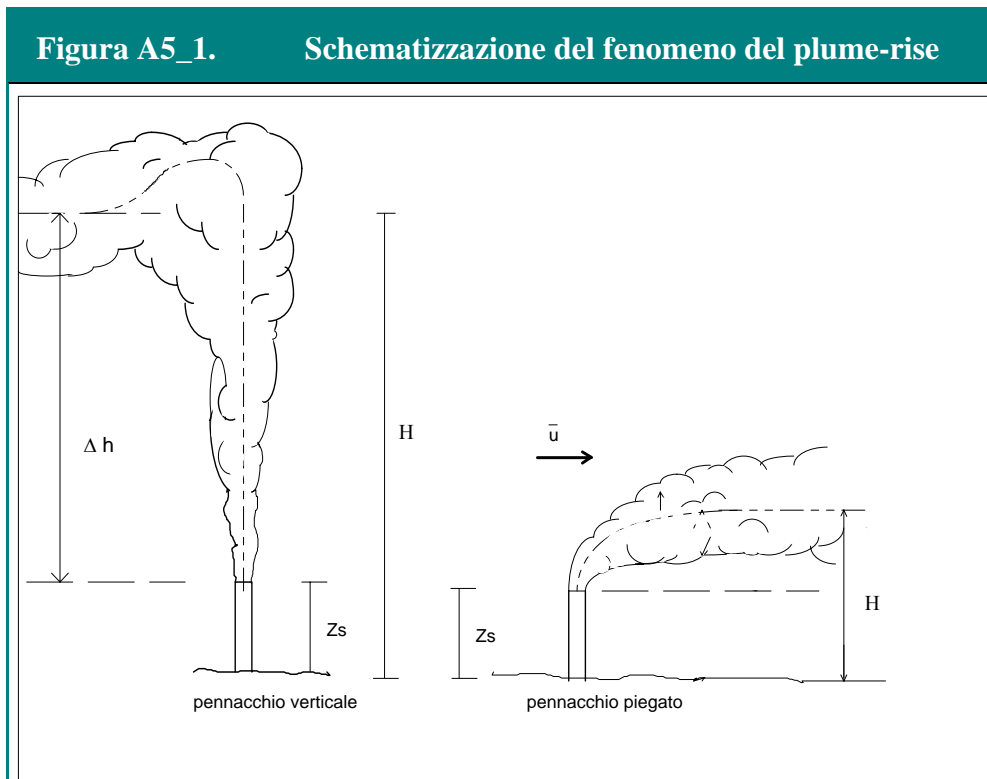
$AC$  rapporto aria/combustibile;

$F_{xa}$  area della sezione trasversale della torcia ( $m^2$ ), calcolata dalla [A5.15]:

$$F_{xa} = \frac{\pi d^2}{4} \quad [A5.15]$$

dove:

$d$  diametro dell'orifizio della torcia (m)



Note: per  $H$  si intende  $h_e$  (altezza effettiva di emissione) e  $z_s$  è  $h_{\text{torce/motori}}$  (altezza dei motori/torce)