

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;

Δh è definita come innalzamento verticale del pennacchio.

Il Δh 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 Δh , valutabile mediante formule empiriche, definita come l'innalzamento verticale del pennacchio (figura A5_1).

Una delle espressioni valide per la determinazione di Δh 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 (m^4s^{-3});

u_a velocità del vento mediata sull'altezza di ricaduta del plume (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 (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;
- γ gradiente della temperatura potenziale dell'atmosfera (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 (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 (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;

ΔH_{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 (σ_z) attraverso la seguente equazione:

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

dove:

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

σ_{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];
 β 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:

- ρ_a densità dell'atmosfera (\square/m^3);
 W_o velocità di efflusso (ms^{-1}), calcolata dalla [A5.13];
 V_o tasso di volume rilasciato ($m^3 s^{-1}$);
 ρ_o densità dell'emissione effluente (gm^{-3}), determinata come segue:

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

dove:

- R costante dei gas ($8,314 JKmol^{-1}$);
 P pressione (Pa);
 T temperatura della torcia (K);
 V_m volume molare ($0,0224 m^3 mol^{-1}$);
 ρ_{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_m volume molare pari a $2,241 \times 10^{-2} m^3 mol^{-1}$;
 PM_{CH₄} 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}),

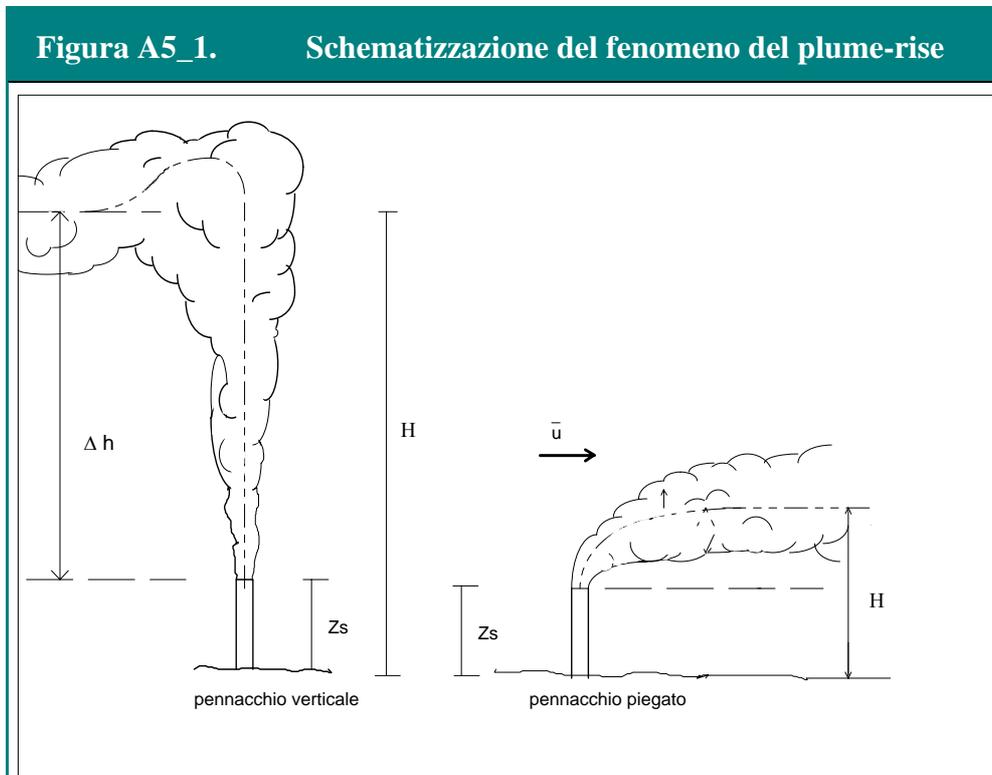
AC rapporto aria/combustibile;

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)