

## Index

<b>SOMMARIO</b> .....	<b>3</b>
<b>1.    <b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b></b> .....	<b>4</b>
<b>2.    <b>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</b></b> .....	<b>4</b>
<b>3.    <b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b></b> .....	<b>4</b>
<b>4.    <b>CENNI DI TEORIA DI PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO</b></b> .....	<b>5</b>
<b>5.    <b>LA VALUTAZIONE DEL DISTURBO IN AMBIENTE DI VITA</b></b> .....	<b>7</b>
<b>6.    <b>FONTI DI VIBRAZIONI</b></b> .....	<b>9</b>
<b>6.1    Macchinari ed attrezzature</b> .....	<b>9</b>
<b>6.2    Opere di fondazione</b> .....	<b>9</b>
<b>7.    <b>VALUTAZIONE DELL'IMPATTO VIBRAZIONALE</b></b> .....	<b>10</b>
<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>12</b>



## SOMMARIO

Nel rapporto è illustrata la valutazione previsionale dell'impatto vibrazionale prodotto in fase di cantiere – derivante dall'utilizzo delle relative macchine ed attrezzature – per la realizzazione dell'impianto di Produzione Idrogeno e dell'impianto di Recupero Zolfo all'interno della Raffineria di Gela.

Lo scopo della valutazione è quello di stimare il valore massimo del livello di vibrazione al confine di proprietà della Raffineria stessa.

Tale valore risulta inferiore alla soglia di percezione per l'uomo in ambiente di vita, specificata dalla normativa tecnica di settore UNI 9614.

Pur considerando eventuali amplificazioni delle vibrazioni per risonanza delle strutture nel passare dal terreno agli edifici, i Ricettori esterni alla Raffineria – essendo più distanti – saranno soggetti a livelli di vibrazione, prodotti dalle attività di cantiere, trascurabili.

Attualmente, nell'area di studio non sono né documentati né rintracciabili altri fenomeni di natura vibrazionale che si possano cumulare a quelli, già esigui, prodotti dalle attività oggetto di valutazione.

Pertanto, si può concludere che – durante la fase di cantiere di adeguamento tecnologico – sono attesi livelli di vibrazioni complessivi che si mantengono al di sotto della soglia di percezione stabilita dalla suddetta normativa tecnica di settore.

## 1. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- **UNI 9614:1990**  
Misure delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo
- **UNI 11048:2003**  
Vibrazioni meccaniche e urti – Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo

## 2. **DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

- [1] **Quadro di riferimento Progettuale**  
Studio di Impatto Ambientale per Adeguamento Tecnologico della Raffineria di Gela  
Maggio 2009, rev. 6  
Contratto FWIENV n. 1-BH-0339°
- [2] **Studio geologico relativo alla realizzazione di n. 2 impianti all'interno della Raffineria di Gela**  
ALLEGATO 5 dello Studio di Impatto Ambientale per Adeguamento Tecnologico della Raffineria di Gela  
Geologo dott. Attilio Parisi  
Maggio 2009  
Contratto FWIENV n. 1-BH-0339°
- [3] **Approfondimenti concernenti le attività di cantiere previste per Adeguamento Tecnologico della Raffineria di Gela**  
ALLEGATO 6 del documento "Risposta alle richieste d'integrazione pervenute dalla Commissione VIA"  
Marzo 2010  
Contratto FWIENV n. 1-BH-0384A

## 3. **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

- **Immissioni di rumore e vibrazioni da impianti civili e stabilimenti industriali**  
Associazione Italiana di Acustica  
Pubblicazione gaa/7 a cura di A. Peretti, D. Bertoni, A. Franchini e O. Nicolini

## 4. CENNI DI TEORIA DI PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO

In un dato punto, l'entità del livello vibrazionale del terreno o degli edifici è esprimibile dal valore efficace RMS dell'accelerazione  $a$  in  $m/s^2$  o dal corrispondente livello  $L$  in dB:

$$L = 10 \log \left( \frac{a^2}{a_0^2} \right)$$

dove:

- $a_0$  è il valore efficace dell'accelerazione di riferimento, pari a  $10^{-6} m/s^2$ .

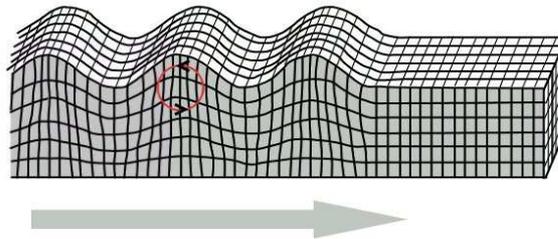
Nell'ipotesi di propagazione in un terreno isotropo ed omogeneo, è possibile stimare l'accelerazione  $a$  alla distanza  $r$  (in metri) alla frequenza  $f$  (in Hz) mediante la relazione:

$$a(r, f) = a' \cdot \left( \frac{r'}{r} \right)^n \cdot \exp \left[ \frac{-2\pi f \eta}{c} (r - r') \right]$$

dove:

- $r'$  è la distanza di riferimento (in metri) alla quale è noto lo spettro di emissione  $a'$  in  $m/s^2$ ;
- $n$  è il coefficiente di attenuazione che dipende dal tipo di onda e dal tipo di sorgente;
- $\eta$  è il fattore di perdita del terreno;
- $c$  è la velocità di propagazione delle onde vibrazionali nel terreno, in m/s.

Nel caso oggetto di valutazione, le fonti di vibrazione (utilizzo di macchine operatrici e realizzazione di opere di fondazione in superficie) si possono considerare come puntiformi e collocate sul terreno [1]; in tal caso, la propagazione avviene sostanzialmente per onde di Rayleigh, ovvero le particelle si muovono su orbita ellittica in piani normali alla superficie e paralleli alla direzione di propagazione:



Considerando poi il terreno costituito da sabbia asciutta [2], passando alla formulazione logaritmica, il livello di accelerazione in dB alla frequenza  $f$  si può stimare mediante la relazione (cfr. paragrafo 3):

$$L(r, f) \cong L' - 10 \log \left( \frac{r}{r'} \right) - 0.06 f (r - r')$$

essendo  $L'$  il livello di vibrazione in dB, alla frequenza  $f$  alla distanza  $r'$ ; il termine logaritmico rappresenta l'attenuazione per divergenza  $A_{div}$ ; l'ultimo termine è invece la dissipazione di energia meccanica in calore  $A_{cal}$ , linearmente crescente con la distanza e che assume importanza all'aumentare della frequenza.

In questa trattazione semplificata è conservativamente trascurata l'eventuale attenuazione  $A_{rifl}$  che si manifesta qualora nel terreno si abbiano superfici di separazione fra strati con diversa impedenza meccanica; in tal caso, infatti, una quota di energia viene riflessa da tali superfici di discontinuità e non viene quindi percepita al di là di esse.

In particolare, se l'eccitazione avviene al di sotto dello strato superficiale sovraconsolidato, l'interfaccia fra esso ed il terreno incoerente sottostante riduce l'ampiezza delle vibrazioni che riescono ad attraversare tale interfaccia.

Il fattore che esprime tale attenuazione, sempre minore di 1, è legato al rapporto fra le impedenze dei due strati, espressa dal prodotto fra la densità del materiale  $\rho$  e la velocità di propagazione delle onde di taglio  $c$  (il pedice 1 si riferisce al materiale con impedenza più bassa dei due):

$$A_{rifl} = 20 \log \left( \frac{1 + \rho_2 c_2 / \rho_1 c_1}{2} \right)$$

Il modello semplificato di propagazione illustrato si riferisce ai soli fenomeni che avvengono nel terreno; all'interno degli edifici, i livelli di accelerazione riscontrabili possono presentare sia attenuazioni, sia amplificazioni rispetto ai livelli sul terreno, a causa di:

- trasmissione delle vibrazioni dal terreno alle strutture di fondazione, che provocano tipicamente un'attenuazione per accoppiamento di entità variabile – compresa tra 4.0 e 12.0 dB – in relazione alla tipologia della fondazione (platea, su pali, ...), al tipo di terreno (sabbioso, roccioso, ...) e del contenuto energetico in frequenza;
- risonanze strutturali del solaio che provocano amplificazioni dei livelli, variabili in relazione alla tipologia costruttiva (laterocemento, in acciaio, ...), ai vincoli ed alle dimensioni geometriche; nelle condizioni più penalizzanti, si possono riscontrare incrementi fino a 10.0 dB rispetto ai valori misurati sulle fondazioni dell'edificio;
- smorzamento strutturale, che provoca attenuazioni passando da un piano a quello sovrastante, quantificabile in circa 2.0 dB/piano.

In prima approssimazione, è possibile quantificare l'effetto complessivo di questi fenomeni in un incremento di circa 5.0 dB dei livelli di vibrazione al centro dei solai rispetto a quelli riscontrabili sul terreno.

## 5. LA VALUTAZIONE DEL DISTURBO IN AMBIENTE DI VITA

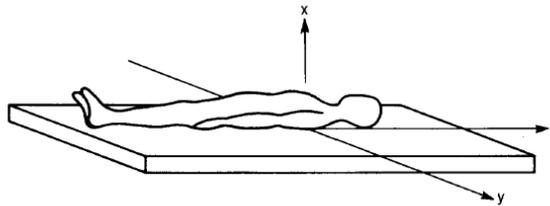
Ai fini della valutazione del disturbo nell'uomo in ambiente di vita, l'intervallo in frequenza da analizzare è compreso tra 1 e 80 Hz.

Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, la norma UNI 9614:1990 introduce dei filtri che ponderano le accelerazioni a secondo del loro effetto sul soggetto esposto.

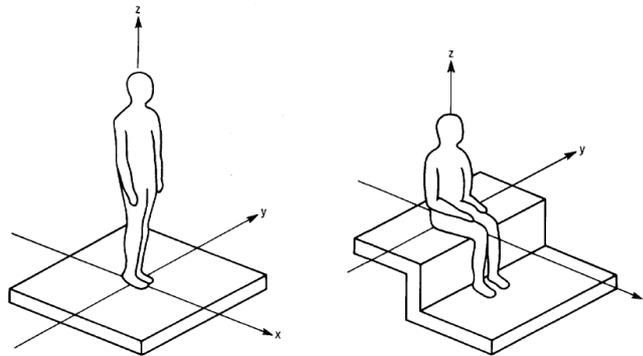
Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo; i simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente  $a_w$  ed  $L_w$ .

Le direzioni lungo le quali si propagano le vibrazioni vengono poi riferite alla postura assunta dal soggetto esposto, così definite:

- asse z: passante per il cocchige e la testa
- asse x: passante per la schiena ed il petto
- asse y: passante per le due spalle



Sistema cartesiano di riferimento per persona coricata



Sistema cartesiano di riferimento per persona in piedi o seduta

Suddetta norma UNI suggerisce poi i seguenti valori limite dei valori complessivi ponderati in frequenza, riferiti agli assi del soggetto esposto:

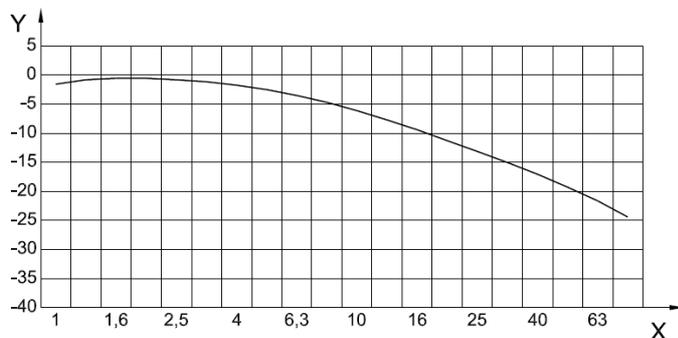
	Asse z		Assi x e y	
	$a_w$ [ $m/s^2$ ]	$L_w$ [dB]	$a_w$ [ $m/s^2$ ]	$L_w$ [dB]
Aree Critiche	0.0050	74.0	0.0036	71.0
Abitazioni (notte)	0.0070	77.0	0.0050	74.0
Abitazioni (giorno)	0.0100	80.0	0.0072	77.0
Uffici	0.0200	86.0	0.0144	83.0
Fabbriche	0.0400	92.0	0.0288	89.0

Nota: per Aree Critiche si intendono le camere operatorie ospedaliere, i laboratori, i locali in cui si svolgono lavori manuali delicati.

La successiva norma UNI 11048 chiarisce che, allorché la postura dei soggetti esposti non è predefinita o può essere variabile, occorre ponderare – in funzione della frequenza – tutti tre i segnali con lo stesso filtro di ponderazione  $W_m$ :

X Frequenza (Hz)

Y Guadagno (dB)



Nel caso di verifica strumentale in campo, la valutazione del disturbo è effettuata con il valore istantaneo massimo dell'accelerazione ponderata:

$$a_w = \max(a_x, a_y, a_z)$$

acquisito con costante di tempo slow con un intervallo di campionamento pari almeno a 0.1 s.

L'attrezzatura deve essere in grado di acquisire dati con frequenza di campionamento di almeno 250 Hz (4 ms) per una durata di almeno 60 s.

## 6. FONTI DI VIBRAZIONI

### 6.1 Macchinari ed attrezzature

I dati di emissione di vibrazione delle macchine da cantiere sono stati rintracciati nel volume "Environmental impact of roads and traffic" di L. H. Watkins, che riporta una serie di valori sperimentali rilevati a distanza nota.

Evidentemente, nel caso in esame verranno impiegati macchinari non necessariamente corrispondenti a quelli oggetto dei rilievi sperimentali di cui sopra.

E' comunque ragionevole ipotizzare che le lavorazioni che erano in atto al momento del rilievo sperimentale fossero analoghe a quelle che verranno eseguite nel corso delle opere oggetto di valutazione.

Il seguente prospetto riporta gli spettri ponderati dei livelli di accelerazione tratti dalla bibliografia, rilevati alla distanza di 10 m, a ciascuno dei quali è stato associato un indice identificativo ID:

ID	Hz rpm	spettri di accelerazione in dB a 10 m																	sum			
		1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40		50	63	80
101	camion ribaltabile	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	48.0	53.0	54.0	57.0	60.0	70.0	80.0	73.0	73.0	73.0	80.0	79.0	85.5
102	camion da cantiere	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	44.0	40.0	42.0	44.0	50.0	54.0	67.0	67.0	70.0	76.0	76.0	74.0	73.0	81.6	
103	compattatore a rullo non vibrante	60.0	60.0	60.0	64.0	64.0	67.0	59.0	74.0	80.0	86.0	87.0	84.0	87.0	74.0	82.0	79.0	73.0	74.0	73.0	96.4	
104	compattatore a rullo vibrante	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	59.0	58.0	59.0	62.0	60.0	67.0	66.0	76.0	90.0	70.0	60.0	66.0	67.0	90.3
105	pala gommata carica	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	54.0	55.0	54.0	57.0	60.0	62.0	67.0	70.0	85.0	86.0	79.0	84.0	83.0	79.0	91.3
106	pala gommata scarica	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	53.0	62.0	60.0	66.0	64.0	67.0	76.0	69.0	66.0	66.0	65.0	67.0	79.0
107	ruspa cingolata grande	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	67.0	69.0	74.0	77.0	82.0	80.0	89.0	91.0	88.0	84.0	83.0	79.0	77.0	95.6	
108	ruspa cingolata piccola	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	71.0	68.0	80.0	79.0	76.0	93.0	92.0	97.0	97.0	96.0	97.0	97.0	97.0	105.2	

La seguente tabella sintetizza invece la tipologia e la quantità di macchine operatrici da impiegarsi nelle attività di cantiere [3] (durata prevista di 15 mesi) e la relativa associazione allo spettro di emissione ID ipotizzata:

ID	Mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Totale
101	Furgone	2	3	4	7	10	10	11	12	13	13	12	9	5	4	2	117
105	Elevatore	2	3	3	5	7	7	8	8	8	8	7	5	3	2	1	77
108	Escavatore	0	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
108	Escavatore con martello demolitore	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
101	Camion	1	3	5	9	13	12	14	13	12	12	9	4	3	1	0	111
108	Pala	1	2	3	4	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	19
108	Terna	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	19
104	Rullo compattatore gomma/ferro	0	0	1	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8
103	Rullo compattatore ferro/ferro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
104	Finitrice	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
108	Grader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
101	Autobetoniera	0	0	2	4	4	4	4	4	4	4	2	2	0	0	0	34
101	Pompa per Calcestruzzo	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	17
102	Piattaforma	0	0	1	6	10	12	12	13	14	14	11	3	2	2	1	101
102	Gru15 tonnellate	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	17
102	Gru 30 tonnellate	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	2	1	1	0	0	32
102	Gru 50 tonnellate	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	21
102	Gru 70 tonnellate	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	7
102	Gru 100 tonnellate	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	1	1	0	0	0	12
102	Gruppo elettrogeno	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	19
108	Frantoio	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<b>Totale</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>51</b>	<b>67</b>	<b>64</b>	<b>70</b>	<b>69</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>57</b>	<b>31</b>	<b>22</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	

### 6.2 Opere di fondazione

Le attività oggetto di valutazione non contemplano la realizzazione di opere di fondazione di profondità, ma solo interventi di superficie, quali platee o plinti isolati.

A parte gli effetti prodotti dall'utilizzo di specifiche attrezzature (già considerate negli elenchi di cui al paragrafo precedente), solitamente tali operazioni non sono fonti rilevanti di vibrazioni.





Pur con ipotesi ampiamente conservative, il massimo livello di accelerazione complessivo ponderato  $L_w$  ( $\approx 50.0$  dB) risulta inferiore alla soglia di percezione specificata dalla normativa UNI 9614 (71.0 dB).

I Ricettori esterni alla Raffineria – essendo più distanti – saranno soggetti a livelli di vibrazione prodotti dalle attività di cantiere trascurabili, pur considerando che gli effetti di accoppiamento strutturale e di trasmissione delle vibrazioni all'interno degli edifici potrebbero amplificare di circa 5.0 dB i livelli riscontrati sul terreno.



## CONCLUSIONI

Nel rapporto è stata illustrata la valutazione previsionale dell'impatto vibrazionale prodotto in fase di cantiere per la realizzazione dell'impianto di Produzione Idrogeno e dell'impianto di Recupero Zolfo all'interno della Raffineria di Gela.

La valutazione ha contemplato lo scenario di massimo impatto, considerando spettri di emissione a distanza nota di macchine ed attrezzature simili a quelli da impiegarsi in cantiere, ricavati in Letteratura.

Pur con ipotesi ampiamente conservative, il valore stimato del livello ponderato  $L_w$  alla recinzione di Raffineria risulta pari a circa 50.0 dB.

I Ricettori esterni alla Raffineria – essendo più distanti – saranno quindi soggetti a livelli di vibrazione prodotti dalle attività di cantiere inferiori alla soglia di percezione per l'uomo specificata dalla normativa UNI 9614, pari a 71.0 dB.

Ciò pur considerando che gli effetti di accoppiamento strutturale e di trasmissione delle vibrazioni all'interno degli edifici potrebbero amplificare di circa 5.0 dB i livelli riscontrati sul terreno.

Attualmente, nell'area di studio non sono né documentati né rintracciabili altri fenomeni di natura vibrazionale che si possano cumulare a quelli, già esigui, prodotti dalle attività oggetto di valutazione.

Pertanto, si può concludere che – durante la fase di cantiere di adeguamento tecnologico – sono attesi livelli di vibrazioni complessivi che si mantengono al di sotto della soglia di percezione stabilita dalla suddetta normativa tecnica di settore.