

## TECNOLOGIE, CONSUMI ENERGETICI, COSTI E IMPATTI AMBIENTALI NELL'ESCAVAZIONE, LAVORAZIONE E TRASPORTO DI CALCARE E OLIVINA

### MATERIALE SUPPLEMENTARE

*Tab MS1: Consumi energetici nell'escavazione*

Attività	Roccia	Consumo energetico		Fonte
		kWh t <sup>-1</sup>		
Perforazione	Calcere	0.3		OEERE (2002b)
	Marmo	0.6		Traverso et al (2010)
Movimentazione e trasporto materiali	Calcere	4.8		OEERE (2002b)
	Marmo	2.9		Traverso et al (2010)
Total Excavation	Calcere	5		OEERE (2002b)
	Marmo	3.5		Traverso et al (2010)
	Dunite, Basalto	5.6		Brown et al (2010)

*Tab MS2: Spese Operative (OPEX) nell'escavazione*

Attività	Roccia/Minerale	Costo		Fonte
		€ t <sup>-1</sup>		
Perforazione	Calcere	0.06		Holtec (2011)
	Riolite	0.4		MIE (2022)
Esplosione	Calcere	0.07		Holtec (2011)
	Riolite	0.3		MIE (2022)
Movimentazione materiali e trasporto	Calcere	0.3		Holtec(2011)
	Riolite	1.9		MIE (2022)
Totale	Calcere	0.5		Holtec (2011)
	Riolite	2.6		MIE (2022)

*Tab MS3: Consumo energetico della frantumazione*

Frantoio	Roccia/Minerale	Consumo Energetico kWh t <sup>-1</sup>	Dimensioni diametro		Fonte
			Input mm	Prodotto finale mm	
Generico	Calcere	9	100	10	Boyce (1997)
Generico	Calcere	0.8	-	-	OEERE (2002b)
Generico	Olivina	2	-	-	O'Connor (2005)
	Serpentino	2	-	-	
	Wollastonite	2	-	-	
Jaw, Giratory o Impact crusher	Roccia Silicatica di calcio e/o magnesio	1	500	100	Metso (2010); Wang et al (2003)
Secondary impact crusher	Roccia Silicatica di calcio e/o magnesio	1	100	30	
Cone crusher	Roccia Silicatica di calcio e/o magnesio	5	30	5	
Generico	Dunite, basalto	5.6	-	-	Brown et al (2010)
Generico	Riolite	3.5	10	8	MIE (2022)

# INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

*Tab MS4: Consumo energetico della macinazione fine/polverizzazione*

Mulino	Roccia/Minerale	Consumo Energetico kWh t <sup>-1</sup>	Dimensione diametro		Fonte
			Input mm	Prodotto finale mm	
Generico	Olivina	4	200	1	Hangx et al (2009)
Generico	Olivina	7	200	0.300	
Generico	Olivina	12	200	0.100	
Generico	Olivina	22	200	0.037	
SMD (Stirred Media Detritor) mill	Olivina	150	0.037	0.010	
Ball mill (-75 µm)	Olivina, 100%	11	-	0.075	O'Connor et al (2005)
Ball mill (-38 µm)	Olivina, 100%	81	-	0.038	
SDM (Stirred Media Detritor) mill	Olivina, 100%	231	-	<0.010	
Ball mill (-75 µm)	Serpentino (lizardite), 100%	11	-	0.075	
Ball mill (-75 µm)	Olivina, 70%	15	-	0.075	
Ball mill (-38 µm)	Olivina, 70%	85	-	0.038	
SDM (Stirred Media Detritor) mill	Olivina, 70%	235	-	<0.010	
Ball mill (-75 µm)	Serpentino (antigorite), 100%	11	-	0.075	
Ball mill (-38 µm)	Wollastonite, 50%	91	-	0.038	
SDM (Stirred Media Detritor) mill	Wollastonite, 50%	161	-	<0.010	
Generico	Dunite, Basalto	19	-	0.050	Strefler et al (2018)
Generico	Dunite, Basalto	56	-	0.020	
Generico	Dunite, Basalto	128	-	0.010	
Generico	Dunite, Basalto	833	-	0.002	
Ball mill o Roller mill	Roccia silicatica di calcio o magnesio	58	-	-	Metso (2010); Wang et al (2003)
Generico	Roccia silicatica di calcio o magnesio	167	-	0.030	
Generico	Roccia silicatica di calcio o magnesio	556	-	<0.001	Moosdorf (2014)
Generico	Feldspato	37	2	0.045	
Generico	Quarzo	46	10	0.500	

*Tab MS5: Costo Operativo (OPEX) per triturazione totale*

Roccia/Minerale	Voce di costo	Costo	Diametro finale mm	Fonte
		€ t <sup>-1</sup>		
Dunite, Basalto	Elettricità	1.8	0.050	Strefler et al (2018)
Dunite, Basalto	Elettricità	5	0.020	
Dunite, Basalto	Elettricità	12	0.010	
Dunite, Basalto	Elettricità	77	0.002	

## INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

*Tab MS6: Consumo Energetico Specifico nel trasporto di lungo raggio*

Modalità di trasporto	Consumo Energetico Specifico		Fonte
	kWh t <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>		
Trasporto merci su strada	0.222		Renforth et al (2013a)
Trasporto merci su ferrovia	0.083		
Nave di piccolo taglia	0.111		
Nave di grande taglia (240,000 t)	0.014		Davis et al (2011)
Trasporto su strada	0.365		
Trasporto ferroviario	0.058		
Treno	0.194		West et al (2002)
Nave di piccola taglia (2,500 t)	0.063		IMO (2000)
Nave di media taglia (25,000 t)	0.052		
Nave di grande taglia (250,000 t)	0.017		

*Tab MS7: Costi Operativi unitari (OPEX) nel trasporto di lungo raggio*

Modalità di trasporto	Costo Operativo Unitario		Fonte
	€ t <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>		
Trasporto merci su strada	0.090		Renforth (2012)
Trasporto merci su ferrovia	0.057		
Nave di grande taglia	0.002		
Treno	0.057		Hartman (1992)
Imbarcazione di piccola taglia	0.011		Rau et al (1999)
Nave di grande taglia	0.004		Everist et al (2003)
Imbarcazione di piccola taglia	0.013		
Treno	0.044		
Treno	0.035		
Camion	0.116		
Camion	0.308		Ko et al (2018);
Ferrovia	0.034		Borjesson et al (1996)
Nave di piccola taglia	0.023		

## INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

*Tab MS8: Costi Operativi unitari (OPEX) e Consumi Energetici al variare della distanza nel trasporto di lungo raggio*

Modalità di trasporto	Distanza	OPEX	Consumo
-	km	€ t <sup>-1</sup>	kWh t <sup>-1</sup>
Camion	0	0	0
Camion	10	3.08	3.65
Camion	50	15.4	18.25
Camion	100	30.8	36.5
Camion	150	46.2	54.75
Camion	200	61.6	73
Treno Merci	0	0	0
Treno Merci	10	0.57	1.94
Treno Merci	50	2.85	9.7
Treno Merci	100	5.7	19.4
Treno Merci	150	8.55	29.1
Treno Merci	200	11.4	38.8
Piccola Imbarcazione	0	0	0
Piccola Imbarcazione	10	0.23	1.11
Piccola Imbarcazione	50	1.15	5.55
Piccola Imbarcazione	100	2.3	11.1
Piccola Imbarcazione	150	3.45	16.65
Piccola Imbarcazione	200	4.6	22.2
Navi	0	0	0
Navi	10	0.02	0.17
Navi	50	0.1	0.85
Navi	100	0.2	1.7
Navi	150	0.3	2.55
Navi	200	0.4	3.4

### Riferimenti bibliografici:

Borjesson, P., Gustavsson L. (1996). Biomass transportation. *Renew Energy* 9(1): 1033–6

Boyce M. (1997). Transport and storage of fluid. In: Perry RH, Greenand DW, Maloney JO, editors. *Perry's chemical engineer's handbook*, 7th edition. New York: McGraw-Hill, 1997. Pag: 10-1-152.

Brown, T., Coggan, J., Evans, J. et al (2010). *Underground Mining of Aggregates*. Mineral Industries Research Organization. Available at: <http://core.kmi.open.ac.uk/download/pdf/56411.pdf>.

Davis, S., Diegel, S., Boundy, R. (2011). *Transportation Energy Data Book*. Edition 31. Center for Transportation Analysis: Energy and Transportation Science Division. Available at: [https://tedb.ornl.gov/wp-content/uploads/2019/03/Edition31\\_Full\\_Doc.pdf](https://tedb.ornl.gov/wp-content/uploads/2019/03/Edition31_Full_Doc.pdf)

- Everist RA, Burhans M. (2003). Rail transportation of construction aggregates. Unpublished handout from a presentation at the society for mining, metallurgy, and exploration annual meeting. Denver, Colorado, February 25, 2003.
- Hangx, S., and Spiers, J. (2009). Coastal spreading of olivine to control atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations: A critical analysis of viability. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 3: 757–767. doi: 10.1016/j.ijggc.2009.07.001
- Hartman, H. (1992). *SME mining engineering handbook*, 2nd ed. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc, Littleton, Colorado, 1992. p. 117-21
- Holtec (2011). Quarry Optimisation. Holtec Consulting India. Available at: <http://www.holtecnet.com/index.php?id=73>. Retrieved in August 2021.
- IMO (2000). Study of greenhouse gas emissions from ships: Appendices, edited by K. O. Skjølsvik et al. Table 4.9. Append. to MT00 A23-038, London. International Marine Organization. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.1805&rep=rep1&type=pdf>.
- Ko, S., Lautala, P. and Handler, R. (2018) Securing the feedstock procurement for bioenergy products: a literature review on the biomass transportation and logistics. *Journal of Cleaner Production* 200:205–18. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.241
- Metso (2010). *Basics in Minerals Processing*. 7<sup>th</sup> edition. Metso Corporation.
- MIE (2022) Personal Communication. Minerali Industriali Engineering. [www.mineraliengineering.it](http://www.mineraliengineering.it)
- Moosdorf, N., Renforth, P. and Hartmann, J. (2014). Carbon Dioxide Efficiency of Terrestrial Enhanced Weathering. *Environ. Sci. Technol.* 48(9): 4809-4816. doi: 10.1021/es4052022
- O'Connor, W., Dahlin, D., Rush, G. et al (2005). Aqueous mineral carbonation: mineral availability, pretreatment, reaction parameters, and process studies. DOE/ARC-TR-04-002, 2005. doi:10.13140/RG.2.2.23658.31684
- OEERE (2002b). ITP Mining: Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry. Chapter 9 – Limestone and Crushed Rock. Industrial Technology Program. US Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Available at: <https://www.energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>. Retrieved in July 2021
- Rau, G. and Caldeira, K. (1999). Enhanced carbonate dissolution: a means of sequestering waste CO<sub>2</sub> as ocean bicarbonate. *Energy Conversion and Management* 40(17): 1803-1813. doi: 10.1016/S0196-8904(99)00071-0
- Renforth, P. (2012). The potential of enhanced weathering in the UK. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 10: 229-243. doi: 10.1016/j.ijggc.2012.06.011
- Renforth, P., Jenkins, B. and Kruger, T. (2013a). Engineering challenges of ocean liming. *Energy*, 60: 442-452. doi: 10.1016/j.energy.2013.08.006
- Strefler, J., Amann, T., Bauer, N. et al (2018). Potential and costs of carbon dioxide removal by enhanced weathering of rocks. *Environmental Research Letter* 13 (3): 034010. doi: 10.1088/1748-9326/aaa9c4
- Traverso, M., Rizzo, G., Finkbeiner, M. (2010) Environmental performance of building materials: life cycle assessment of a typical Sicilian marble. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15:104e14.
- Wang, Y. and Forssberg, E. (2003). *International Overview and Outlook on Comminution Technology*. Luleå Universitet: Department of Chemical Engineering and Geosciences.

West, T. and Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. *Agriculture Ecosystems and Environment* 91(1-3):217-232. doi: 10.1016/S0167-8809(01)00233-X