



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.A. 2020/2021

Analisi e valutazione dell'impatto ambientale del cantiere di Restauro e ristrutturazione degli immobili costituenti il complesso denominato “Ex Cottolengo” sito ad Orbassano (TO)

Relatore:

Ing. Prof. Manzone Fabio

Candidato:

Iannotta Eva

267338

Azienda:

Studio A&A- Ingegneri associati

29 Novembre 2021

ABSTRACT

Italiano:

Il lavoro di tesi ha come obiettivo quello di studiare ed analizzare i temi ambientali e di sostenibilità edilizia che vertono intorno all'intero processo edilizio.

Il cantiere è la fase di maggior impatto ambientale nell'ambito del processo produttivo di opere edili o civili. Nel cantiere edile, infatti, vi sono attività di movimentazione, stoccaggio, deposito, raccolta e trasporto di materiali ed inoltre si generano rifiuti di costruzione e demolizione che investono tutte le tematiche ambientali e che, in particolar modo, impattano sul suolo, aria ed acqua.

La gestione sostenibile del cantiere implica l'analisi delle tematiche ambientali in fase di progettazione al fine di dare indicazioni e linee guida ai responsabili e al personale che opereranno durante la fase di esecuzione ed avviamento dell'opera.

In seguito ad un'attenta analisi della normativa ambientale e di sicurezza del cantiere, approfondendo i criteri di certificazione di prodotto (modelli di tipo LCA) e di certificazione di processo, le linee guida della ISO14001 e del Regolamento EMAS, si intende redigere il Piano Gestione Ambientale del cantiere di *Restauro e rifunzionalizzazione degli immobili costituenti il complesso denominato "Ex Cottolengo"*, al fine di valutare i miglioramenti attuabili al cantiere "tradizionale" e di implementarne la sostenibilità.

English:

The thesis work aims to study and analyse environmental and building sustainability issues that revolve around the whole building process.

The construction site represents the phase with the largest environmental impact within the production process of building and civil works. The construction site involves activities such as handling, storage, collection and transport of materials; construction and demolition waste is generated and it affects all environmental issues which, in particular, impact on soil, air and water.

The construction site sustainable management provides for the analysis of environmental issues in the design phase in order to give the right guidelines to the managers and staff who will operate during the execution phase of the work.

After a careful analysis of the environmental and safety regulations of the construction site, deepening the product certification criteria (through LCA-type models) and process certification, the guidelines of ISO14001 and the EMAS Regulation, will be applied to the

"Ex Cottolengo building complex's management and refurbishment" in order to evaluate the improvements that can be implemented to the "traditional" site for sustainability purposes.

SOMMARIO

ABSTRACT	2
SOMMARIO	4
1. INTRODUZIONE	7
1.1 La Sostenibilità e l' Edilizia Sostenibile	8
1.2 L' Ambiente e l' Edilizia	10
1.3 Gestione sostenibile del patrimonio edilizio	12
1.4 Cantiere sostenibile	17
2. STATO DELL' ARTE	19
3. QUADRO NORMATIVO	21
3.1 UNI EN ISO 9001:2015	21
3.1.1 Plan-Do-Check-Act (PDCA) e il risk-based thinking	21
3.1.2 Approccio per processi	22
3.1.3 Ciclo Plan-Do-Check-Act	22
3.1.4 Risk-based thinking	23
3.2 UNI EN ISO 14001:2015	24
3.3 Criteri Minimi Ambientali	25
3.4 Piano gestione ambientale	27
3.4.1 Normativa di riferimento	27
3.4.2 Descrizione dell' edificio	28
3.4.3 Descrizione dell' intervento	28
3.4.4 Pianificazione: Analisi Ambientale	28
3.4.5 Aspetti Ambientali	28
3.4.5.1 Responsabilità	29
3.4.5.2 Modalità operative	29
PARTE SECONDA: <u>Elaborazione del Piano Gestione Ambientale per il cantiere caso studio.</u>	30
4. PIANO GESTIONE AMBIENTALE DEL CANTIERE DI RESTAURO CONSERVATIVO E LA RIFUNZIONALIZZAZIONE DEGLI IMMOBILI COSTITUENTI IL COMPLESSO DENOMINATO "EX COTTOLENGO"	31
Premessa	31

4.1	Normativa di riferimento	31
4.2	Descrizione del complesso “Ex Cottolengo”	32
4.3	Descrizione dell’intervento.....	36
4.4	Pianificazione: Analisi Ambientale	38
4.4.1	Aspetti Ambientali	38
4.4.1.1	Inquinamento atmosferico.....	38
4.4.1.1.1	Diffusione di polveri in fase di cantierizzazione, di costruzione e demolizione dell’opera	40
4.4.1.1.2	Diffusione di polveri dovuta al transito dei mezzi d’opera	52
4.4.1.1.3	Emissioni dei fumi di combustione di mezzi d’opera ed attrezzature utilizzate durante le attività di costruzione:	79
4.4.1.1.4	Emissione di CO ₂ dovuta al consumo di energia elettrica e di carburante	91
4.4.1.1.5	Limiti normativi	92
4.4.1.2	Utilizzo di materie prime ed energia	93
4.4.1.3	Rumore e vibrazioni	96
4.4.1.3.1	Limiti normativi	103
4.4.1.4	Vegetazione e fauna	104
4.4.1.5	Acque superficiali ed acque sotterranee	107
4.4.1.6	Suolo e sottosuolo	115
4.4.1.7	Rifiuti	115
4.5	Stima impatto ambientale complessivo	116
4.6	Misure di mitigazione dell’impatto ambientale del cantiere	116
4.6.1	Inquinamento atmosferico	116
4.6.1.2	Emissioni dei fumi di combustione di mezzi d’opera ed attrezzature utilizzate durante le attività di costruzione	119
4.6.2	Utilizzo di materie prime ed energia.....	119
4.6.3	Rumore e vibrazioni.....	121
4.6.4	Vegetazione e fauna	122
4.6.5	Acque superficiali ed acque sotterranee	123
4.6.6	Suolo e sottosuolo	124
4.6.7	Rifiuti	125
4.7	Stima dei costi del cantiere sostenibile.....	127
CONCLUSIONI.....		129

BIBLIOGRAFIA.....	131
SITOGRAFIA.....	133

1. INTRODUZIONE

Il progresso economico e l'avanzamento delle nuove tecnologie ha migliorato la qualità di vita degli ultimi anni ma allo stesso tempo ha causato un aumento esponenziale dell'impatto ambientale.

La sensibilità ai temi ambientali è aumentata sempre più negli ultimi anni, anche nel settore edilizio si parla di costruzioni a basso impatto ambientali ed eco-friendly, dando maggiore peso all'inquinamento prodotto dalle costruzioni.

Oggi, l'industria ha saputo rinnovarsi nella produzione di materiali e prodotti sostenibili, a bassa emissione e riciclati.

Si dà maggiore importanza all'intero ciclo di vita dei materiali e dei manufatti edilizi, portando ad un continuo cambiamento ed innovazione del settore.

I progettisti devono essere attenti ai temi ambientali dalla fase iniziale a quella finale del processo edilizio.

Si dà però maggiore rilevanza alla sostenibilità del prodotto finito, non considerando l'impatto ambientale del cantiere, ove avviene la produzione dei materiali, la trasformazione, lo stoccaggio e la produzione di rifiuti.

Le considerevoli quantità di rifiuti prodotti, che tendono sempre più ad incrementarsi, unite alle difficoltà di smaltimento e alla crescita dei costi di trattamento, hanno determinato un sempre maggior interesse verso il riciclaggio, che permette di recuperare alcune frazioni dei rifiuti reinserendoli nei cicli produttivi sotto forma di materie prime seconde.

I rifiuti da costruzione e demolizione, o rifiuti da C&D, provengono essenzialmente dalle operazioni di costruzione e manutenzione di opere edili e civili, da attività estrattive e dalla demolizione delle costruzioni.

Al fine di ridurre effettivamente, ed in modo complessivo, gli impatti ambientali dovuti agli interventi edilizi, appare necessario ed imprescindibile che il progetto si faccia carico del tema ambientale in ogni fase del cantiere.

L'obiettivo della tesi è quello di focalizzare l'attenzione sull'impatto ambientale del cantiere edile, esponendo le criticità e i vantaggi della stesura del Piano Gestione Ambientale di un cantiere edile.

Si applica la normativa vigente per la stesura del Piano al cantiere di restauro e rifunzionalizzazione degli immobili "Ex Cottolengo", quantificando l'effettivo impatto ambientale ed analizzando le possibili misure di mitigazione dell'impatto stesso.

1.1 La Sostenibilità e l' Edilizia Sostenibile

Nel 1987 è stata proposta per la prima volta la definizione di *Sostenibilità* nel rapporto “Our Common Future” pubblicato dalla Commissione mondiale per l’ambiente e lo sviluppo (Commissione Bruntland) del Programma delle Nazioni Unite per l’ambiente; lo sviluppo sostenibile è un progresso in grado di assicurare «il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri».

Il concetto di sostenibilità combina le attività economiche alla salvaguardia dell’ambiente, assicurando la soddisfazione dei bisogni essenziali, la realizzazione di uno sviluppo economico che abbia come obiettivo principale il rispetto dell’ambiente e l’adozione di processi produttivi compatibili con la capacità della biosfera di assorbire le conseguenze delle attività umane.

Dunque il suddetto concetto si fonda su due elementi fondamentali:

- l’ambiente come dimensione essenziale dello sviluppo economico;
- la responsabilità intergenerazionale nell’uso delle risorse naturali.

Nel 1992 a Rio de Janeiro si è tenuta la Conferenza delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development), consolidando il principio di sviluppo sostenibile attraverso la pubblicazione di vari atti:

la Dichiarazione di Rio su ambiente e sviluppo, l’Agenda 21, la Dichiarazione sulla gestione, la conservazione e lo sviluppo sostenibile delle foreste, la Convenzione sui cambiamenti climatici, entrata in vigore nel 1994, e la Convenzione sulla diversità biologica, entrata in vigore nel 1993.

Si definisce la nozione di “sostenibilità” nell’art. 2 della Convenzione sulla biodiversità, ovvero si definisce “sostenibile” l’uso delle risorse biologiche secondo modalità e a un ritmo che non ne comportino una riduzione a lungo termine e che preservino le capacità di soddisfare le esigenze delle generazioni presenti e future.

Gli atti di Rio e le successive conferenze mondiali promosse dalle Nazioni Unite, in specie la Conferenza di Johannesburg del 2002, confermano una configurazione del principio dello sviluppo sostenibile fondata su tre fattori interdipendenti: tutela dell’ambiente, crescita economica e sviluppo sociale. A partire dall’UNCED, lo sviluppo sostenibile si è consolidato quale principio di diritto internazionale e ha contribuito all’evoluzione del diritto internazionale ambientale attraverso la conclusione di trattati ambientali globali e di numerosi accordi di carattere regionale.

L'Unione Europea, allo stesso modo, ha posto lo sviluppo sostenibile a fondamento delle politiche ambientali e delle azioni economiche

Dunque, il concetto di sostenibilità pone le basi per un processo di sviluppo capace di sostenere nel corso del tempo la riproduzione del capitale mondiale, composto dal capitale economico, umano/sociale e naturale.

In particolare, il capitale economico è rappresentato da tutte le cose create dagli individui, il capitale umano/sociale è costituito da tutti gli individui di una società mentre il capitale naturale è costituito dall'ambiente naturale e dalle risorse naturali della società.

I tre filoni fondamentali della sostenibilità nel settore delle costruzioni sono:

- la nascita di un nuovo prodotto
- il mantenimento in vita di un prodotto esistente e per il quale è stato generato
- il riciclo del prodotto nella speranza di una nuova vita.

Quindi possiamo affermare che l'obiettivo principale dell'Edilizia Sostenibile è l'utilizzo di materie prime naturali con il minimo investimento energetico al fine di ottenere un prodotto più prossimo al chilometro zero capace di essere programmato anche per un nuovo ciclo di vita che eviti o minimizzi il generare rifiuti da scarto per il benessere collettivo tendente all'ottimizzazione sostenibile ambientale globalizzata.

Tali obiettivi servono a guidare l'intero processo di elaborazione di scelte normative regionali o locali ed indirizzare gli enti verso una programmazione ed attuazione delle diverse politiche concerni l'edilizia.

L'edilizia sostenibile si fonda su 10 principi, raggruppati secondo aree di intervento: La prima area (principi 1-3) riguarda il contesto dell'abitare; la seconda (principi 4-6) il manufatto edilizio mentre la terza (principi 7-9) investe più propriamente l'utilizzo del manufatto stesso. Il decimo ed ultimo principio si riferisce alla necessaria azione per la diffusione dei principi e dei criteri finalizzati ad una nuova e diversa cultura del progetto:

1. Ricercare uno sviluppo armonioso e sostenibile del territorio, dell'ambiente urbano e dell'intervento edilizio;
2. Tutelare l'identità storica delle città e favorire il mantenimento dei caratteri storici e topologici legati alla tradizione degli edifici;
3. Contribuire, con azioni e misure, al risparmio energetico e all'utilizzo di fonti rinnovabili;
4. Costruire in modo sicuro e salubre;
5. Ricercare e applicare tecnologie edilizie sostenibili sotto il profilo ambientale, economico, e sociale;

6. Utilizzare materiali di qualità certificata ed eco-compatibili;
7. Progettare soluzioni differenziate per rispondere alle diverse richieste di qualità dell'abitare;
8. Garantire gli aspetti di “safety” e di “Security” dell'edificio;
9. Applicare la domotica¹ per lo sviluppo di una nuova qualità dell'abitare;
10. Promuovere la formazione professionale, la progettazione partecipata e l'assunzione di scelte consapevoli nell'attività dell'edilizia.

1.2 L'Ambiente e l'Edilizia

Il settore dell'edilizia sostenibile è una piccola parte del settore dell'edilizia tradizionale, nonostante ciò, negli anni implementa e studia nuovi approcci alla progettazione in modo tale da dare maggiore attenzione alla biocompatibilità ed agli impatti sull'ambiente.

La filosofia alla base dell'edilizia sostenibile promuove la realizzazione di edifici di nuova costruzione nel pieno rispetto di normative tecniche molto restrittive, bensì gli edifici già esistenti necessitano di azioni di recupero e riqualificazione.

Il passaggio ad una edilizia sostenibile non è più una scelta ma una necessità, mirata a migliorare la qualità della vita dei cittadini, diminuire il consumo di energia, dare maggior valore alle case, ridurre le emissioni e soprattutto cercare di smaltire i rifiuti da costruzione e demolizione tramite il riciclo degli stessi.

Oggi si pone particolare attenzione all'intera vita del prodotto edilizio: dal reperimento delle materie prime ai processi produttivi dei materiali, alla dismissione del bene, al recupero e alla riciclabilità dei materiali.

La grave crisi ambientale degli ultimi anni ha portato ad una maggiore sensibilità nei confronti delle tematiche ambientali, allo sviluppo di programmi d'azione e politiche internazionali volte alla riduzione dei consumi di energia primaria e alla gestione dei rifiuti edilizi.

Nella valutazione degli impatti ambientali dei materiali, la potenziale distanza tra causa ed effetto complica la comprensione delle dinamiche rispetto a casi più immediati. Per esempio, gli effetti nocivi dell'amianto sulla salute dell'uomo diventano evidenti solo dopo decenni l'avvenuta contaminazione.

Il reperimento delle materie prime, la loro lavorazione, il trasporto, l'uso e lo smaltimento possono causare enormi danni ambientali e sociali, tra cui il surriscaldamento del pianeta,

¹ Domotica: Applicazione dell'informatica e dell'elettronica alla gestione dell'abitazione.

l'inquinamento atmosferico, la carenza di risorse naturali, l'estinzione di specie animali e vegetali, la desertificazione e problemi di salute. La valutazione degli impatti ambientali dei materiali, dalla produzione allo smaltimento o, come si dice, "dalla culla alla tomba", è conosciuta come analisi del ciclo di vita (LCA, Life Cycle Assessment), una metodologia di valutazione che analizza il ciclo di vita di un prodotto o un intero processo; valuta gli impatti ambientali, tenendo conto delle reazioni a catena e degli effetti a lungo termine prodotti dall'utilizzo del prodotto; quantifica i flussi di materia o energia in ingresso e in uscita; assimila il ciclo di vita a un diagramma di flusso ed infine definisce l'unità funzionale.



L'approccio LCA permette di effettuare un'analisi ed una attenta valutazione delle diverse soluzioni ambientali già in fase preliminare, evidenziando le prestazioni energetico-ambientali e le soluzioni più efficienti e meno dispendiose.

È possibile applicare in modo iterativo la tecnica LCA in modo tale da effettuare scelte progettuali, misurarne l'efficacia e valutare un possibile miglioramento e/o cambiamento.

Tale approccio permette la quantificazione degli impatti ambientali di prodotti, che possono essere sia beni che servizi, in tutto il loro ciclo di vita, dalla fase di estrazione di materie prime necessarie alla produzione del bene fino alla fase di smaltimento del bene.

I residui derivabili dall'attività di costruzione e di demolizione (C&D), di edifici e di infrastrutture, sono per la maggior parte classificati con il codice CER (Codice Europeo dei Rifiuti) numero 17 a cui corrisponde la descrizione generica di "rifiuti misti non pericolosi dell'attività di costruzione e demolizione, incluso il terreno proveniente da siti contaminati".

Gestire in modo eco-efficiente questi rifiuti speciali non pericolosi significa contribuire allo sviluppo sostenibile, i cui obiettivi principali sono:

- ridurre il consumo delle risorse naturali;
- ridurre il consumo di fonti energetiche non rinnovabili;
- ridurre il flusso dei rifiuti destinati allo smaltimento, sia nelle discariche che negli inceneritori.

A tal proposito il D.M 203/2003 ha imposto il raggiungimento dell'obiettivo di coprire il fabbisogno annuale di manufatti e beni con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato nella misura non inferiore al 30% del fabbisogno e la direttiva 2008/98/CE quello di recuperare almeno il 70% dei rifiuti inerti entro il 2020.

Nell'ultimo decennio i paesi nord-europei hanno già raggiunto l'obiettivo fissato dalla direttiva europea (70%), i paesi prevalentemente mitteleuropei si stanno più o meno avvicinando a tale obiettivo (40-70%), invece tra i paesi sud-europei, che hanno iniziato un percorso di avvicinamento all'obiettivo, vi sono paesi, fra cui l'Italia, per i quali non sono disponibili dati di stima delle percentuali di riciclo.

Secondo i dati ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, il settore delle costruzioni produce il 42,5 % di rifiuti speciali, conquistando il primo posto tra i vari settori economici.

È evidente che bisogna migliorare tale aspetto, promuovendo il riciclo dei rifiuti stessi e l'utilizzo di materie riciclate, in modo tale da ridurre notevolmente l'impatto ambientale del settore edilizio.

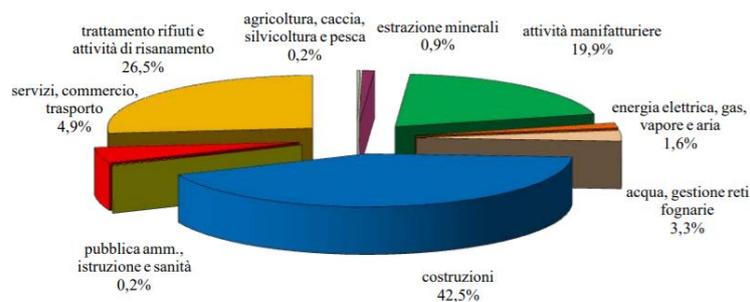


Figura 1: Ripartizione percentuale della produzione totale dei rifiuti speciali, per attività economica, anno 2018, Fonte: ISPRA.

1.3 Gestione sostenibile del patrimonio edilizio

L'industria dell'edilizia è uno dei settori caratterizzati dal maggior consumo di materiali, è dunque necessario sviluppare delle misure per ridurre quest'uso intensivo di materie prime vergini e l'impatto ambientale che ne consegue.

Una mossa in questa direzione è la progettazione di edifici il più possibile smontabili, in modo da avere la possibilità di ricavare dei componenti da riutilizzare o riciclare, ovvero delle materie prime "seconde" da impiegare al posto di quelle di origine vergine. In questo modo non si riduce soltanto l'impatto ambientale associato all'approvvigionamento delle materie prime e alla fase produttiva, ma anche quello legato all'incenerimento dei rifiuti o al loro conferimento in discarica.

I rifiuti che l'industria edilizia può riutilizzare possono essere suddivisi in quattro categorie principali: interi edifici; componenti costruttivi recuperati; materiali da costruzione riciclati; prodotti con materiali riciclati.

Per far fronte a tale problema, ingegneri ed architetti si dirigono verso l'architettura sostenibile, ponendo le basi su alcuni concetti principali:

Durabilità: ovvero la costruzione di un edificio che dura nel tempo, si adatta ai cambiamenti, non ha bisogno di essere smontata e riciclata perché costruita in un modo tale che con pochi adattamenti e aggiornamenti tecnologici impiantistici può continuare a vivere.

Sostenibilità: vi è una prima grande dicotomia per riflettere sulla teoria e pratica di che cosa sia l'architettura sostenibile:

1. Da un lato c'è una concezione che vede nell'architettura sostenibile quella architettura che usa il meno possibile materie prime e seconde che depauperano, sfruttano, diminuiscono la quantità di risorse del nostro pianeta e usa il più possibile sistemi di produzione da fonti rinnovabili e sistemi di gestione e manutenzione anch'essi da fonti rinnovabili, quindi un'architettura che ha come obiettivo quello di durare per sempre.
2. Da un altro lato l'architettura viene concepita pensando al concetto del cradle-to-cradle, dalla culla alla culla; cioè usando dei materiali che sono già concepiti, specializzati, inventati per svolgere un certo servizio per un certo periodo (life cycle, vita utile) per poi ritornare nel ciclo dei materiali che possono essere riutilizzati per fare qualcos'altro. Quindi è una filosofia del costruire leggero, temporaneo e smontabile di grande valore dal punto di vista teorico.

Questa seconda filosofia del costruire temporaneo, oppure con una durata predeterminata, ha un vantaggio non solo meramente energetico, relativo al footprint (impronta ecologica), a

quanto costa in termini energetici o di consumo di materiali e di risorse ma anche dal punto di vista del progresso dell'umanità.

Se un edificio ha una vita utile di 50 anni, trascorsi questi anni può essere smontata e ricostruita con tecnologie migliori per affrontare le sfide ambientali, climatiche, topologiche e i materiali possono essere riciclati e utilizzati per altre costruzioni.

Le esigenze e le necessità del fruitore, le condizioni climatiche, la conoscenza e la normativa cambiano continuamente quindi la casa deve essere aggiornata da ogni punto di vista (comfort, energetico ecc).

L'Unione Europea ha fissato, con l'art. 4 della Dir. 98/2008/CE, una gerarchia dei rifiuti che stabilisce la priorità del riuso rispetto al riciclo nella graduatoria delle opzioni preferibili dal punto di vista ambientale. Sia il riuso sia il riciclo, infatti, contribuiscono all'obiettivo essenziale di evitare il conferimento in discarica dei rifiuti, e al tempo stesso di preservare l'energia incorporata nei materiali da costruzione evitando anche le emissioni di anidride carbonica. Il riuso però ha il vantaggio di non richiedere energia aggiuntiva per rilavorare il materiale, anche se in talune circostanze può comportare altri svantaggi. I benefici ambientali di un'opzione rispetto all'altra devono in effetti essere verificati di caso in caso.

In linea teorica, infatti, mentre i componenti e i materiali riciclabili potenzialmente restano a tempo indeterminato al di fuori del flusso dei rifiuti, il riuso di un prodotto prolunga la sua vita utile ma non ne evita, più in là nel tempo, la trasformazione in rifiuto. Ciò avviene con quei prodotti che possono essere riusati ma non riciclati, come ad esempio i pannelli metallici compositi per coperture e facciate. Il vantaggio ambientale ottenibile con il riuso va valutato di caso in caso, in base alla durata della "seconda vita utile". Per i componenti strutturali, ad esempio, il riuso può evitare il conferimento in discarica anche per centinaia di anni. Per elementi di finitura interni, con una durabilità presunta di pochi anni, o per le finiture esterne, il riuso può rappresentare un vantaggio ambientale molto limitato.

I materiali e i componenti riciclabili più e più volte entrano invece in un ciclo chiuso che per definizione prosegue indefinitamente. Essi devono possedere, però, caratteristiche per le quali il processo di riciclaggio non provochi il degradamento delle prestazioni, ovvero il downcycling.

I materiali biodegradabili, allo stesso modo, possono essere considerati parte di un processo a ciclo chiuso, dato che vengono creati in natura e si degradano in un materiale naturale. Per una effettiva implementazione del modello a ciclo chiuso dei materiali da costruzione, sarebbe preferibile immaginare dei materiali riciclabili a ciclo continuo, le cui proprietà non vengono

mai a decadere, piuttosto che dei componenti riusabili, dato che il riuso comporta la necessità di compatibilità dimensionale, il che rappresenta un vincolo fortissimo al riuso stesso.

I nuovi materiali da costruzione dovrebbero, dunque, essere concepiti come dei nutrienti tecnici, capaci di rigenerarsi infinite volte tramite riciclo e di non divenire mai rifiuto, nemmeno dopo una seconda vita come elemento di riuso.

A tal fine, si dovrebbe adottare solamente materiali riciclabili o biodegradabili, che rientrano a fine vita nel ciclo produttivo tecnico o in quello biologico senza produrre inquinamento. I materiali non in grado di offrire una di queste opzioni a fine vita dovranno, in futuro, essere esclusi dall'impiego in architettura.

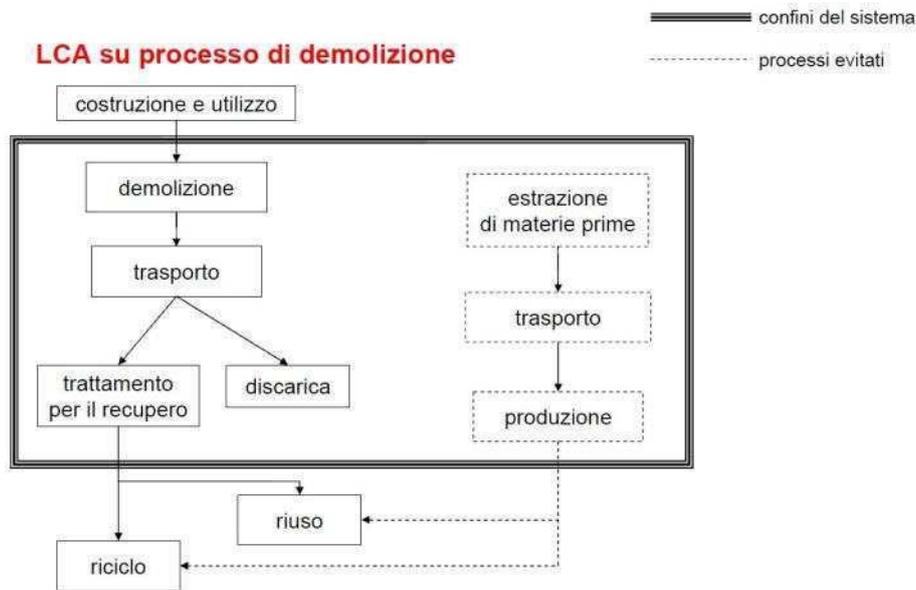
Per quanto riguarda i materiali dell'esistente, tuttavia, l'opzione del riuso rappresenta in molti casi la migliore soluzione dal punto di vista tecnico ed ambientale: ciò avviene ad esempio, per mattoni in laterizio, lastre e blocchi in pietra ed altri componenti ad elevata energia incorporata, come profilati metallici con funzione strutturale, che sono in grado di offrire una prestazione confrontabile con quella di componenti nuovi a zero embodied energy aggiuntiva. Il riuso dei materiali può avvenire in loco o in altro sito. Il massimo esempio del riuso in loco è la conservazione di parti dell'edificio all'interno di interventi di ristrutturazione, che può garantire un notevole risparmio di energia e di emissioni di CO₂. Si consideri, ad esempio, di conservare la struttura in cemento armato di un edificio soggetto a rifacimento delle facciate: si evitano così le emissioni dovute alla produzione di nuovo cemento, di aggregati e acciaio, nonché tutte le emissioni dovute al trasporto dei materiali in cantiere.

Lo stesso avviene per qualsiasi altro componente che venga riutilizzato in sito, anche non nella collocazione originaria. Rispetto alla conservazione, sarà necessario in questo caso un minimo quantitativo di energia, generalmente manodopera manuale, per la rimozione, il ripristino e la nuova messa in opera del componente. Si eviteranno, però, rispetto al caso del riuso off-site, le emissioni dovute al trasporto dell'elemento, che per alcuni materiali dal peso specifico notevole possono anche superare il risparmio di CO₂ ottenuto con il riuso stesso.

La quantificazione degli impatti ambientali evitati attraverso riuso e riciclo dei rifiuti da C&D non è un'operazione banale, poiché richiede la conoscenza di una serie di dati, non sempre disponibili, come le potenziali modalità di trasporto o i consumi energetici dei processi di riciclaggio. È indubbio, però, che, evitando totalmente alcuni processi, gli input e gli output del ciclo di vita del prodotto riutilizzato o riciclato si riducono.

Nello schema sottostante, vengono evidenziati i processi che è possibile evitare tramite riuso e riciclo. Quando queste due operazioni avvengono nel luogo stesso della demolizione, anche il trasporto verso il cantiere può essere evitato.

LCA su processo di demolizione



Lo smontaggio di un edificio può richiedere tempi più lunghi, ma risulta meno rumoroso, sporco e distruttivo delle operazioni ordinarie di demolizione, ed è una pratica più appropriata nelle aree densamente popolate.

Le tasse per lo smaltimento dei rifiuti rappresentano un incentivo finanziario alla limitazione della produzione dei rifiuti, e ciò può succedere anche con un attento smantellamento degli edifici.

Ci si può procurare i componenti da recupero direttamente dai cantieri di demolizione oppure attraverso dei siti internet che favoriscono questo genere di mercato, ma purtroppo gli ostacoli più comuni al riutilizzo o riciclo dei materiali sono i costi, che spesso sono ancora superiori a quelli dei materiali nuovi, la disponibilità e la conformità ai requisiti richiesti per lo stesso materiale.

Un altro aspetto molto importante della gestione sostenibile del patrimonio edilizio è la riduzione dei rifiuti tramite semplici escamotage.

È possibile ridurre la quantità dei rifiuti prodotti in ogni fase del processo edilizio, dalla progettazione alla demolizione. Ciò significa progettare edifici semplici, evitando decorazioni complesse, efficienti e dimensionati in maniera appropriata ma soprattutto costruiti con materiali prodotti da aziende dotate di certificazione ambientale. In cantiere bisogna prestare attenzione alle ordinazioni eccessive, alle modifiche in corso d'opera e all'immagazzinamento sicuro dei materiali, senza che questi ultimi siano danneggiati o conservati male. È possibile ridurre la quantità dei rifiuti prodotti in cantiere di costruzione o

demolizione suddividendoli in diverse categorie, in modo da contenere il costo dello smaltimento e agevolare il riciclo.

1.4 Cantiere sostenibile

Nell'ambito della gestione ambientale dei cantieri, per rendere un cantiere sostenibile si adotta, a discrezione dell'impresa e della stazione appaltante, il Piano di Gestione Ambientale, che consente in ciascuna fase del cantiere di prevedere le principali interazioni dei lavori con l'ambiente circostante e di coordinare le relative azioni di prevenzione tenendo sotto controllo i numerosi obblighi in campo ambientale.

In sintesi, il sistema adottato di gestione ambientale del cantiere prevede:

- l'elaborazione da parte della committenza di linee guida per la corretta gestione ambientale, documentazione fornita all'impresa in sede di affidamento;
- l'elaborazione di un Piano di Protezione Ambientale e l'individuazione di un responsabile ambientale da parte dell'impresa prima dell'inizio dei lavori;
- la verifica dell'idoneità del Piano di Protezione Ambientale da parte della committenza;
- l'organizzazione da parte della committenza della struttura preposta al controllo dell'applicazione delle misure di prevenzione e protezione indicate dall'impresa;
- l'aggiornamento continuo della documentazione ambientale da parte del responsabile.

In questo contesto il Piano di Protezione Ambientale si configura come uno strumento operativo che consente sia all'impresa che alla stazione appaltante di gestire gli aspetti ambientali nell'intero processo di realizzazione dell'opera.

La gestione ambientale dei cantieri ha come obiettivo la prevenzione dell'insorgere di criticità ambientali attraverso la pianificazione delle attività di gestione del cantiere, assicurando un corretto e coordinato sviluppo dei lavori e minimizzando gli impatti negativi sull'ambiente.

Alla luce di tali problematiche, gli obiettivi da perseguire sono:

- monitorare e verificare costantemente gli impatti sull'ambiente durante le fasi realizzative critiche;
- garantire la qualità dei lavori ed il rispetto dei tempi secondo procedure ed istruzioni specifiche;
- sensibilizzare le imprese alle problematiche ambientali;

- informare e formare le maestranze in modo tale da renderle capaci di applicare corrette regole comportamentali;
- mettere in atto un'organizzazione capace di gestire un cantiere "ecofriendly".
- La gestione ambientale è definita sulla base di un Piano Ambientale di Cantiere, per la cui stesura, a cura dell'Impresa affidataria delle opere, si indicano le linee guida relative , presentate nei prossimi capitoli.

2. STATO DELL'ARTE

“Il cantiere temporaneo o mobile è qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civile, il cui elenco è riportato nell'allegato X di seguito:

I lavori di costruzione, manutenzione, riparazione, demolizione, conservazione, risanamento, ristrutturazione o equipaggiamento, la trasformazione, il rinnovamento o lo smantellamento di opere fisse, permanenti o temporanee, in muratura, in cemento armato, in metallo, in legno o in altri materiali, comprese le parti strutturali delle linee elettriche e le parti strutturali degli impianti elettrici, le opere stradali, ferroviarie, idrauliche, marittime, idroelettriche e, solo per la parte che comporta lavori edili o di ingegneria civile, le opere di bonifica, di sistemazione forestale e di sterro.

Sono, inoltre, lavori di costruzione edile o di ingegneria civile gli scavi, ed il montaggio e lo smontaggio di elementi prefabbricati utilizzati per la realizzazione di lavori edili o di ingegneria civile.”

D.lgs. 9 Aprile 2008, n. 81 - Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro - Allegato X (Dlg)

Il cantiere è la fase di maggior impatto ambientale nell'ambito del processo produttivo di opere edili o civili. Nel cantiere edile vi sono attività di movimentazione, stoccaggio, deposito, raccolta e trasporto di materiali ed inoltre si generano rifiuti dovuti a lavorazioni che investono tutte le tematiche ambientali, in particolar modo impattano sul suolo, aria ed acqua. La gestione sostenibile del cantiere implica l'analisi delle tematiche ambientali in fase di progettazione al fine di dare indicazioni e linee guida ai responsabili e al personale che opereranno durante la fase di esecuzione ed avviamento dell'opera. In fase preliminare occorre osservare gli aspetti ambientali più significativi, quali:

- inquinamento acustico;
- emissioni in atmosfera;
- emissioni di campi elettromagnetici significativi;
- risorse idriche e suolo;
- terre e rocce da scavo;
- depositi e gestione dei materiali;
- rifiuti solidi e liquidi;
- ripristino dei luoghi.

Il controllo di questi molteplici fattori deve essere gestito in fase di approccio progettuale/amministrativo e documentale mediante la predisposizione di Piani di Controllo

ambientale, specifiche tecniche di appalto/fornitura, linee guida di gestione, strumenti di auditing da utilizzare in cantiere per verifica e registrazione dati, importanti sia per il monitoraggio della qualità del cantiere, sia in sede di dimostrabilità delle buone prassi ad enti di controllo, sia in tema di certificazioni (EMAS, LEED, ISO 14001, ecc.).

Per la gestione sostenibile del cantiere sono necessarie alcune semplici azioni come l'ottimizzazione del carico dei mezzi di trasporto, la predisposizione di vasche per il lavaggio delle betoniere, l'utilizzo di fog-cannon per le bagnature, barriere-recinzioni antipolvere ed antirumore, l'approvvigionamento di materiali a "km 0", utilizzo di sostanze prodotte quanto più naturali possibile.

Un Cantiere ad impatto zero è sinonimo di alta efficienza, basse emissioni, altissima professionalità quindi minori probabilità di infortunio sul lavoro o incidenti ambientali.

L'edilizia sostenibile parte dalla fase progettuale e viene esplicitata dal cantiere e dalla ciclo di vita e di esercizio dell'opera.

Le caratteristiche, ad esempio, del cantiere certificato Leed (Leadership in Energy and Environmental Design) è quello di prevenire l'inquinamento da attività di cantiere, attuando misure di controllo dei fenomeni di erosione del suolo, di sedimentazione nelle acque riceventi e la produzione di polveri nocive per l'ambiente esterno e per le stesse attività di cantiere.

Il prerequisito Leed non chiede solo che tali misure siano previste in cantiere, ma obbliga anche a prevedere una programmazione periodica, a cadenza settimanale di verifica dello stato delle misure implementate e delle relative attività di manutenzione.

La certificazione LEED viene assegnata al termine di un controllo di qualità che assegna dei punti (Platino, Oro, Argento, Base), i crediti sono suddivisi sulla base di diverse aree: sostenibilità del sito, gestione delle acque energia ed atmosfera, materiali e risorse, qualità ambientale interna, innovazione nella progettazione, la priorità regionale.

Le certificazioni sono un ottimo strumento per la valorizzazione delle opere edilizie e per garantire la visibilità dei cantieri ed edifici green tramite specifici portali informatici, riviste di settore, stampa, facendo nascere nel lettore/acquirente il senso positivo che un'opera bella e funzionale può essere anche sostenibile.

Bisogna dunque partire dall'esperienza dei cantieri ecosostenibili e portare nella piccola scala le verifiche e gli accorgimenti ambientali necessari a garantire il rispetto delle leggi in vigore e dell'ambiente che gravita attorno all'attività di costruzione.

3. QUADRO NORMATIVO

3.1 UNI EN ISO 9001:2015

La norma UNI EN ISO 9001:2015 è utile all'implementazione del sistema di gestione della qualità di un cantiere; la suddetta norma ha l'obiettivo di ottimizzare le attività di cantiere, migliorare le prestazioni complessive e i prodotti finali in modo da costituire una solida base per lo sviluppo sostenibile.

I potenziali benefici per un'organizzazione, che attua il sistema di gestione per la qualità basato sulla presente norma internazionale, sono:

- la capacità di fornire con regolarità prodotti e servizi che soddisfino i requisiti del cliente e quelli cogenti applicabili;
- facilitare le opportunità per accrescere la soddisfazione del cliente;
- affrontare rischi e opportunità associati al suo contesto e ai suoi obiettivi;
- la capacità di dimostrare la conformità ai requisiti specificati del sistema di gestione
- per la qualità.

(UNI EN ISO 9001:2015_Sistemi di gestione per la qualità, 2015)

3.1.1 Plan-Do-Check-Act (PDCA) e il risk-based thinking

La UNI EN ISO 9001:2015 è una norma internazionale che utilizza l'approccio per processi, incorporando il ciclo *Plan-Do-Check-Act (PDCA)* e il *risk-based thinking*.

L'approccio per processi consente a un'organizzazione di pianificare i propri processi e le loro interazioni.

Il *ciclo PDCA* assicura che i processi edilizi siano adeguatamente dotati di risorse e che le opportunità di miglioramento siano predeterminate, in modo tale da agire secondo le prospettive di miglioramento predefinite.

Il *risk-based thinking* permette di indicare i fattori che potrebbero fare deviare i risultati pianificati, di effettuare controlli preventivi per minimizzare gli effetti negativi e massimizzare le opportunità.

In un contesto sempre più innovativo e dinamico, per le organizzazioni soddisfare con regolarità i requisiti e affrontare i bisogni e le aspettative future rappresenta una vera e propria sfida.

Per raggiungere questo obiettivo, l'organizzazione potrebbe ritenere necessaria l'adozione di varie forme di miglioramento, quali: cambiamenti radicali (breakthrough change), innovazione e riorganizzazione.

3.1.2 Approccio per processi

La norma internazionale UNI EN ISO 9001:2015 consiglia l'*approccio per processi* nel sistema di gestione della qualità per soddisfare gli obiettivi attesi.

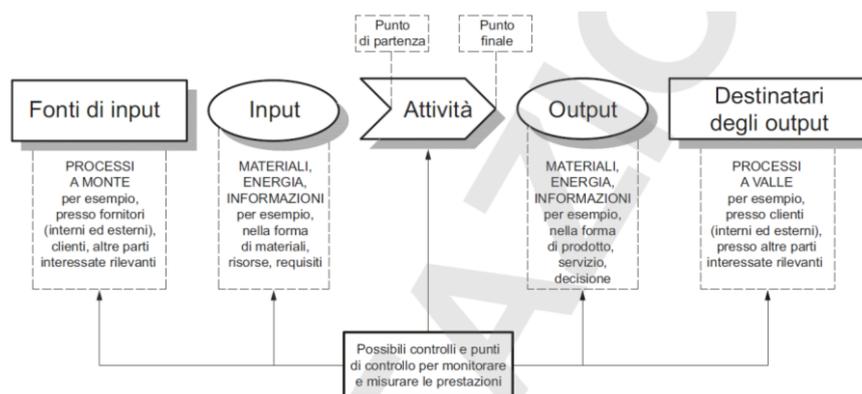
Questo approccio considera tutte le interrelazioni e le interdipendenze fra i processi del sistema, in modo tale da migliorare le prestazioni complessive.

La gestione dei processi utilizza il *ciclo PDCA*, con un orientamento generale al *risk based thinking*, volto a rivelare le opportunità e a evitare di ottenere risultati indesiderati.

L'applicazione dell'approccio per processi all'interno di un sistema di gestione per la qualità permette:

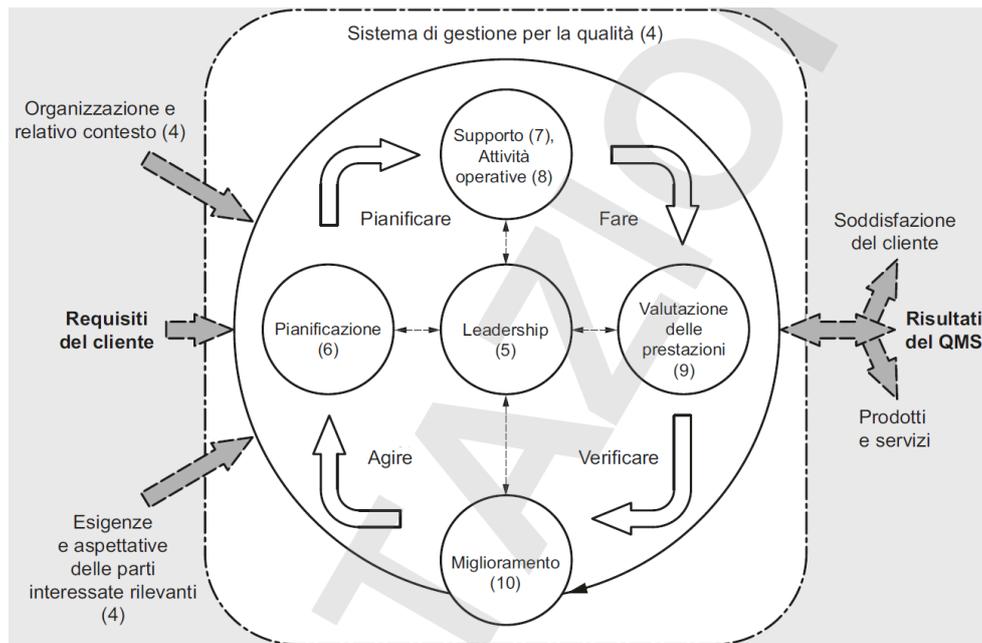
- a) di conoscere i requisiti necessari e soddisfarli in modo coerente;
- b) di valutare i processi in termini di valore aggiunto;
- c) di ottenere efficaci prestazioni di processo;
- d) di migliorare i processi sulla base dello studio di dati e informazioni.

La figura seguente è una rappresentazione schematica di un qualsiasi processo e mostra l'interazione dei suoi elementi. I punti di monitoraggio e di misurazione, che sono necessari per il controllo, sono specifici per ogni processo e variano a seconda dei rischi connessi.



3.1.3 Ciclo Plan-Do-Check-Act

Il ciclo Plan-Do-Check-Act può essere attuato ad ogni tipo di processo e all'intero processo di gestione per la qualità.



L'attuazione del PDCA è piuttosto semplice in quanto consta di quattro azioni, quali:

PLAN (PIANIFICARE) : Definire gli obiettivi del processo, le risorse necessarie per ottenere i risultati attesi - conformi alle politiche dell'organizzazione - e soprattutto i rischi e le opportunità.

DO (FARE) : Mettere in atto ciò che è stato pianificato;

CHECK (VERIFICARE) : Controllare e monitorare i prodotti e i servizi ottenuti dal processo in base alle politiche dell'organizzazione e agli obiettivi attesi;

ACT (AGIRE) : quando necessario, attuare azioni per migliorare le prestazioni.

3.1.4 Risk-based thinking

Per ottenere un efficace sistema di gestione per la qualità bisogna considerare il Risk-based thinking, ovvero considerare i rischi e le opportunità alla base di ogni processo, mettere in atto azioni preventive per evitare potenziali non conformità, analizzare ogni non conformità verificatasi per evitare che si ripeta.

Affrontare sia i rischi che le opportunità aumenta l'efficienza del sistema di gestione della qualità in quanto alcune opportunità nascono anche dalla considerazione di rischi con effetti positivi.

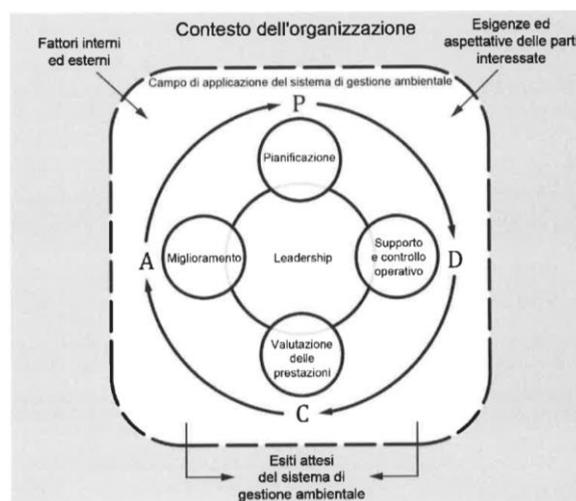
3.2 UNI EN ISO 14001:2015

La norma **UNI EN ISO 14001:2015** fornisce un quadro di riferimento per svolgere attività nel pieno rispetto dell'ambiente, in modo tale da favorire lo sviluppo sostenibile ed il raggiungimento di un equilibrio tra ambiente, economia e società.

Tale norma specifica i requisiti per una corretta gestione ambientale di un'organizzazione:

- Prevenzione e mitigazione di impatti ambientali negativi;
- Mitigare i potenziali effetti negativi che la gestione ambientale può avere sull'organizzazione;
- Supportare l'organizzazione a mettere in atto gli obblighi di conformità;
- Migliorare le prestazioni ambientali;
- Controllare il ciclo di vita dei prodotti e dei servizi dell'organizzazione;
- Ottenere benefici finanziari e operativi tramite l'attuazione di valide alternative per l'ambiente che rafforzano la posizione di mercato dell'organizzazione;
- Promuovere la conoscenza delle problematiche climatiche e delle informazioni ambientali.

Alla base della gestione ambientale vi è il concetto Plan-Do-Check-Act (PDCA), precedentemente esposto nel paragrafo 3.1.3, un processo iterativo che aiuta le organizzazioni a raggiungere il miglioramento continuo ed il risk-based thinking, di cui si è parlato nel paragrafo 3.1.4, che aiuta le organizzazioni ad integrare la gestione ambientale con i requisiti di altri sistemi di gestione.



La presente norma può essere applicata a qualsiasi tipo di organizzazione e riguarda gli aspetti ambientali delle attività, prodotti e servizi dell'organizzazione stessa.

Un'organizzazione può ottenere la conformità a tale norma solo rispettando tutti i requisiti della norma stessa ed il raggiungimento della conformità può essere valutata dall'organizzazione stessa o da terze parti.

3.3 Criteri Minimi Ambientali

Per indirizzare l'edilizia verso una visione più sostenibile sono stati introdotti i «Criteri ambientali minimi» e alcune indicazioni di carattere generale per gli appalti di nuova costruzione, ristrutturazione, manutenzione, riqualificazione energetica di edifici e per la gestione dei cantieri.

I CAM consentono di migliorare il servizio o il lavoro prestato, assicurando prestazioni ambientali al di sopra della media del settore, promuovendo caratteristiche e prestazioni ambientali superiori a quelle previste dalle leggi nazionali e regionali vigenti; ciò non esclude che esistano Leggi regionali che prescrivono prestazioni ancor meno impattanti di quelle definite dai CAM; in tal caso evidentemente tali leggi prevalgono sui corrispondenti criteri.

La presenza di requisiti ambientali dovrebbe essere segnalata fin dalla descrizione stessa dell'oggetto dell'appalto, indicando anche il decreto ministeriale di approvazione dei criteri ambientali utilizzati. Ciò facilita le attività di monitoraggio da parte delle stazioni appaltanti della conformità alle caratteristiche ambientali richieste, infatti, in fondo ai criteri, è riportata una verifica che riporta le informazioni e la documentazione da allegare in sede di partecipazione alla gara, tra cui i mezzi di prova richiesti. Si demanda all'amministrazione aggiudicatrice l'esecuzione di adeguati controlli per verificare il rispetto delle prescrizioni del capitolato che riguardano l'esecuzione contrattuale e si suggerisce alla stazione appaltante di collegare l'inadempimento a sanzioni. Deve essere tenuto presente che i CAM non sostituiscono per intero quelli normalmente presenti in un capitolato tecnico, ma si vanno ad aggiungere ad essi, cioè essi specificano dei requisiti ambientali che l'opera deve avere e che si vanno ad aggiungere alle prescrizioni e prestazioni già in uso o a norma per le opere.

La stazione appaltante deve assicurarsi che la progettazione degli interventi sia affidata a professionisti abilitati e iscritti in albi o registri professionali e che la diagnosi energetica sia affidata a professionisti certificati da parte terza ai sensi delle norme UNI 11339² o UNI

² La norma UNI 11339 definisce i requisiti generali e le procedure per la qualificazione dell'Esperto in Gestione dell'Energia (EGE) delineandone i compiti, le competenze e le modalità di valutazione delle competenze.

11352³, o UNI EN ISO 16247-5⁴, che siano in possesso di comprovata esperienza, valutabile sulla base dei requisiti di idoneità professionale e di capacità tecnico-organizzativa di volta in volta richiesti dalla stazione appaltante in modo da raggiungere i livelli prestazionali richiesti ad un edificio sostenibile.

A tal fine, la stazione appaltante può trovare utile selezionare i progetti sottoposti ad una fase di verifica valida per la successiva certificazione dell'edificio secondo uno dei protocolli di sostenibilità energetica ed ambientale degli edifici (rating systems) di livello nazionale o internazionale (alcuni esempi di tali protocolli sono: Breeam, Casaclima, Itaca, Leed, Well). Allo scopo di ridurre l'impatto ambientale dell'edificio/insediamento nella fase di uso, molto importante in relazione alla durata di vita media dei manufatti, è opportuno che il progetto definisca anche i principali criteri e modalità per la gestione degli stessi, che dovranno essere rispettati dall'organizzazione che se ne farà carico.

Quindi, in sintesi, i principi guida dei CAM in edilizia sono:

- Ridurre il consumo di materia prima non rinnovabile;
- Aumentare l'impiego di materie prime secondarie;
- Eliminare gli impatti sul paesaggio e salute (cave e miniere);
- Minimizzare gli impatti in fase di produzione dei materiali da costruzione (emissioni di CO₂ e altre emissioni, consumi energetici, consumo di acqua, ecc.);
- Minimizzare gli impatti in fase di costruzione/ristrutturazione (cantiere);
- Minimizzare il consumo energetico e di acqua, ridurre emissioni inquinanti e CO₂ in fase di uso;
- Eliminare sostanze tossiche/nocive che impediscono la riciclabilità dei materiali e producono danni alla salute;
- Riciclabilità a fine vita (eco-design), durabilità.

Per quanto concerne i Criteri ambientali minimi circa i materiali da costruzione e componenti edilizi, le linee guida sono le seguenti:

- efficiente impiego delle risorse naturali lungo tutto il ciclo di vita;
- bassi impatti sul paesaggio, sugli habitat e sulle rispettive risorse;
- bassi costi sociali connessi alla produzione;

³ La certificazione UNI CEI 11352 permette di costituire un elenco di operatori certificati, in grado di assicurare il rispetto dei requisiti previsti in termini di servizi energetici offerti.

⁴ La norma UNI CEI EN 16247-5, entrata in vigore nel 2015, definisce i requisiti di competenza di un auditor energetico. Può essere utilizzata per definire schemi nazionali di qualificazione della figura professionale dell'auditor energetico e per assicurare un processo di diagnosi energetica di buona qualità.

- ridotto consumo di energia da fonti non rinnovabili;
- ridotto consumo di acqua;
- riduzione delle sostanze tossiche o inquinanti rilasciate nell'ambiente;
- riduzione dell'uso di sostanze pericolose nei materiali e nei prodotti finiti;
- sicurezza e assenza di rischi per la salute nell'ambiente abitativo.

I materiali prodotti devono inoltre fornire le informazioni che consentano al consumatore di usare il prodotto in maniera efficiente, riducendo al minimo l'impatto ambientale complessivo fino al fine vita.

3.4 Piano gestione ambientale

Il **Piano Gestione Ambientale** ha lo scopo di salvaguardare e tenere sotto controllo gli aspetti ambientali dell'attività che l'organizzazione svolge.

Nello specifico, tale elaborato consente di attuare una politica ambientale che consente di svolgere le normali attività di cantiere nel pieno rispetto dell'ecosistema, considerando vari aspetti ambientali.

Per l'elaborazione del Piano Gestione Ambientale per le attività di cantiere si fa riferimento alla norma **UNI EN ISO 14001:2015**, pubblicata in data 14 Settembre 2015 ed elaborata dal Comitato Tecnico ISO/TC 207 con lo scopo di migliorare la gestione ambientale, all'**allegato tecnico XXI del DLgs.163/2006** ed al **regolamento EMAS (CE) n. 1221/2009** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 novembre 2009 sull'adesione volontaria delle organizzazioni a un sistema comunitario di eco-gestione e audit.

3.4.1 Normativa di riferimento

La stesura del Piano Gestione Ambientale osserva le seguenti norme:

- UNI EN ISO 14001:2015;
- Art 20 e 21 dell'Allegato tecnico XXI del DLgs.163/2006;
- Regolamento EMAS;
- norme tecniche di settore;
- Legislazione relativa agli appalti pubblici;
- Legislazione relativa a terre e rocce da scavo;
- Legislazione relativa a rifiuti;

- Legislazione relativa a rumore e vibrazioni;
- Legislazione relativa a scarichi idrici;
- Legislazione relativa a emissioni in atmosfera;
- Legislazione relativa a siti contaminati;
- Legislazione relativa a sostanze pericolose;
- Legislazione relativa a vegetazione e flora;
- Legislazione relativa alla fauna acquatica e terrestre.

3.4.2 Descrizione dell'edificio

In questa sezione si presenta una breve descrizione dell'edificio, indicando il sito dell'intervento, le caratteristiche geomorfologiche del sito, le caratteristiche architettoniche, strutturali ed impiantistiche dell'edificio oggetto d'esame e tutti i dati utili alla stesura del Piano Gestione Ambientale.

3.4.3 Descrizione dell'intervento

La descrizione dell'intervento mira a descrivere sommariamente le lavorazioni previste in progetto al fine di individuare le risorse necessarie alla realizzazione dell'opera, in termini di quantità e qualità, per determinare gli aspetti ambientali connessi alle lavorazioni, i tempi di svolgimento e i costi.

3.4.4 Pianificazione: Analisi Ambientale

Riferimenti normativi: Norma UNI EN ISO 14001: § 4.3

3.4.5 Aspetti Ambientali

Si effettua preliminarmente una analisi degli aspetti ambientali connessi alla realizzazione dell'opera; in particolare il documento definisce:

- La metodologia esatta per individuare e gestire gli impatti verificabili e la loro mitigazione;
- Per ogni tipologia di attività si individua l'impatto su tutte le componenti ambientali annesse;

- Per ogni impatto ambientale se ne individua la pericolosità e si attuano le attività di mitigazione.

Sulla base dei rilievi e degli studi delle attività di Monitoraggio Ambientale (PMA) si predispongono attività di monitoraggio e/o controllo.

3.4.5.1 Responsabilità

Il *Responsabile del Sistema di Gestione Ambientale* ha il compito di individuare gli aspetti ambientali significativi, valutarne gli effetti, il livello di significatività e le misure di mitigazione.

Inoltre deve indicare i controlli e il monitoraggio delle attività di competenza e deve redigere i seguenti piani:

- Piano di Gestione Ambientale (P.G.A.);
- Piani di protezione ambientale tipologici (PPA);
- Piani di protezione ambientale operativi (PPAO) , i quali devono essere trasmessi al Direttore di Cantiere per approvazione.

3.4.5.2 Modalità operative

Le modalità operative hanno lo scopo di definire le attività di cantiere previste, identificare gli aspetti ambientali di ogni attività, individuare gli effetti ambientali di ogni attività, valutare il livello di significatività di ogni effetto in modo tale da creare una scala di priorità delle attività di mitigazione da attuare in base agli effetti precedentemente individuati.

La valutazione degli effetti avviene in base ai risultati delle attività di sorveglianza e monitoraggio o da quelle previste dalla normativa applicabile.

Gli effetti ambientali significativi sono quelli normati dalla legge che presentano un grado di impatto ambientale maggiore o uguale al parametro limite specificato dalla legge.

PARTE SECONDA

Elaborazione del Piano Gestione Ambientale per il cantiere caso studio.

4. PIANO GESTIONE AMBIENTALE DEL CANTIERE DI RESTAURO CONSERVATIVO E LA RIFUNZIONALIZZAZIONE DEGLI IMMOBILI COSTITUENTI IL COMPLESSO DENOMINATO “EX COTTOLENGO”

Premessa

Per l’elaborazione del **Piano Gestione Ambientale** per le attività di cantiere si fa riferimento alla norma **UNI EN ISO 14001:2015**, all’**allegato tecnico XXI del DLgs.163/2006** ed al **regolamento EMAS (CE) n. 1221/2009** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 novembre 2009.

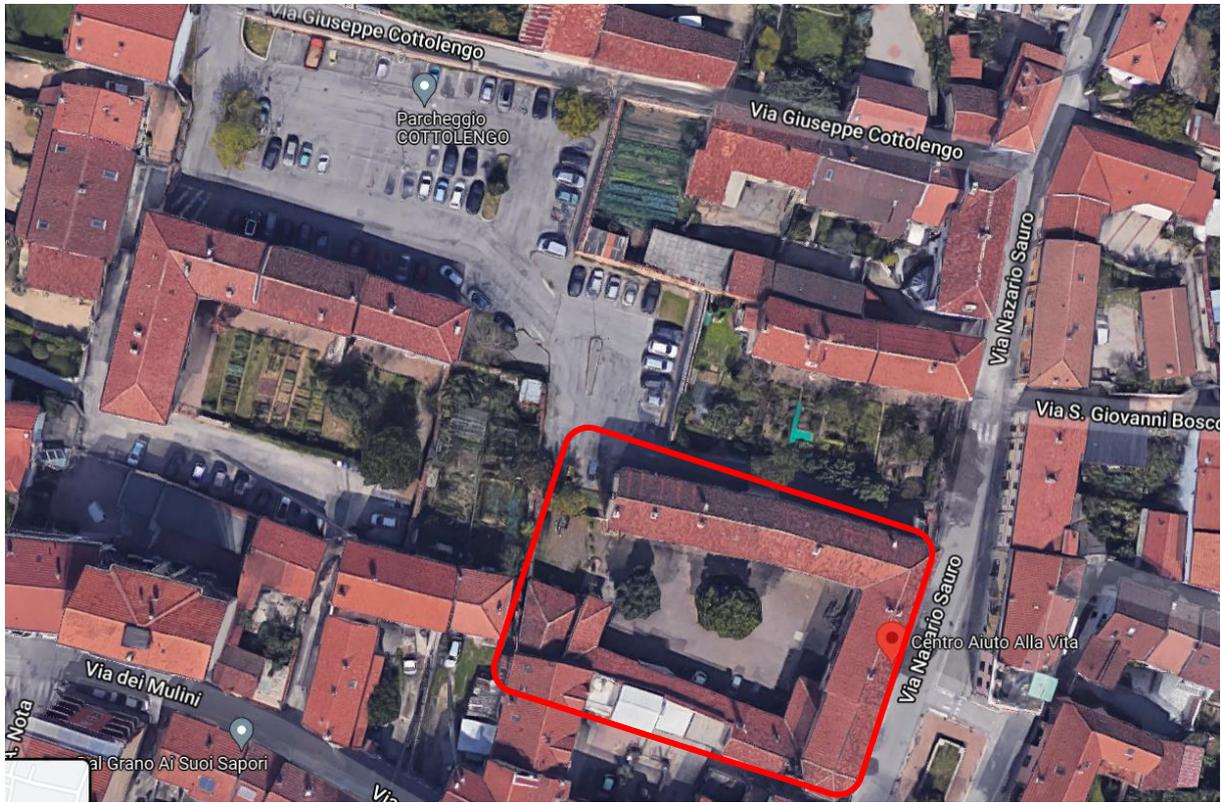
4.1 Normativa di riferimento

La stesura del Piano Gestione Ambientale osserva le seguenti norme:

- UNI EN ISO 14001:2015;
- Art 20 e 21 dell’Allegato tecnico XXI del DLgs.163/2006;
- Regolamento EMAS;
- norme tecniche di settore;
- Legislazione relativa agli appalti pubblici;
- Legislazione relativa a terre e rocce da scavo;
- Legislazione relativa a rifiuti;
- Legislazione relativa a rumore e vibrazioni;
- Legislazione relativa a scarichi idrici;
- Legislazione relativa a emissioni in atmosfera;
- Legislazione relativa a sostanze pericolose;
- Legislazione relativa a vegetazione e fauna;

4.2 Descrizione del complesso “Ex Cottolengo”

Il progetto in esame riguarda il **restauro conservativo e la rifunzionalizzazione degli immobili costituenti il complesso denominato “Ex Cottolengo”** sito nel Comune di Orbassano (TO) in via Nazario Sauro 31.



Vi sono due accessi: l’ingresso principale è in via Nazario Sauro, con accesso diretto al cortile interno; l’ingresso secondario è su strada a senso unico di marcia che collega via Nazario Sauro al parcheggio Cottolengo, ove è possibile accedere al cortile interno.

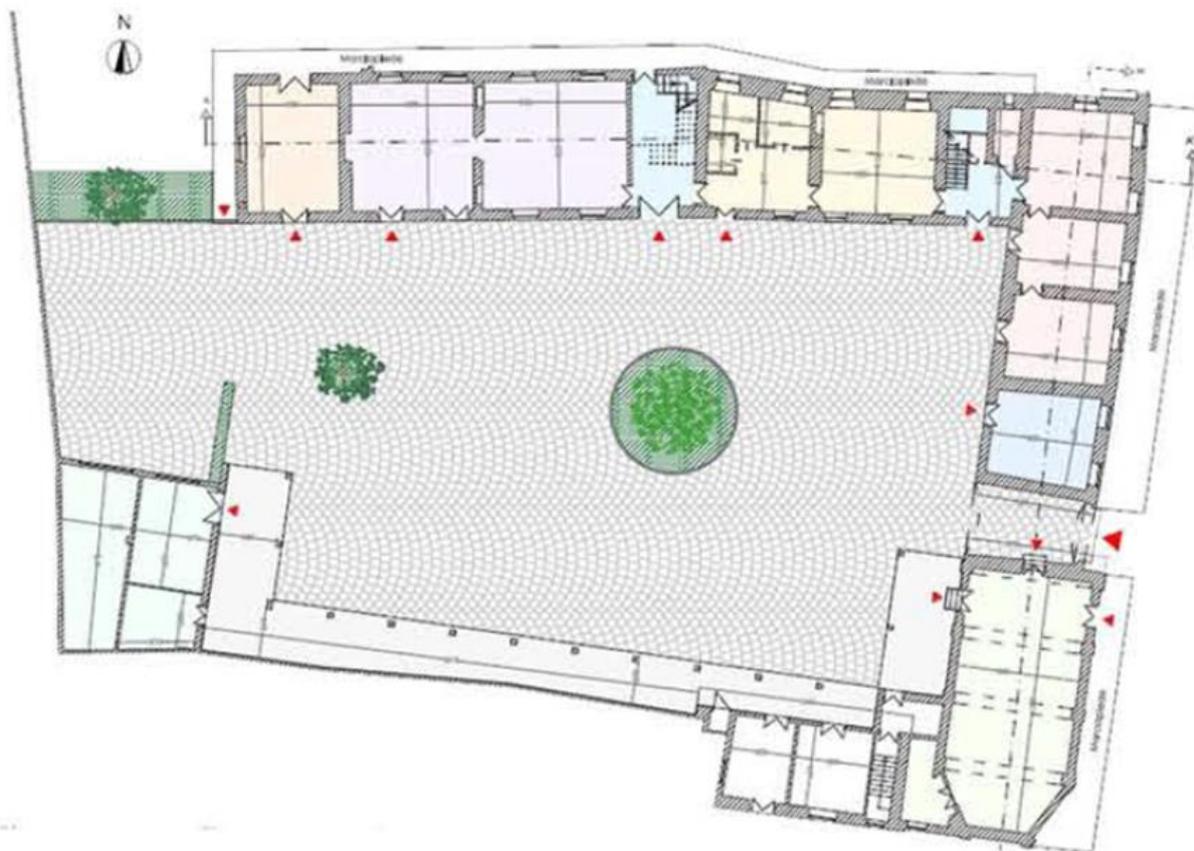


Immagine 1. Pianta Piano Terra- Stato di fatto

La struttura è conformata in **pianta a “C”**, con una manica che fronteggia la via Nazario Sauro e risvolta perpendicolarmente alla stessa, formando una corte interna.

All'estremità sud, su via Nazario Sauro, vi è una chiesetta, costruita nei primi decenni del Novecento, in continuità strutturale con la manica abitativa.

L'edificio si articola su **tre livelli**, l'ultimo dei quali risulta essere un sottotetto non abitabile, e presenta due parti interrato di profondità 2,5 m circa al di sotto della chiesa e in una porzione adiacente all'angolo tra la manica sulla via N. Sauro e la manica sul lato nord del cortile.

La **struttura portante** dell'edificio è in **muratura** del tipo mattoni pieni e malta di calce. Si alternano porzioni di muratura piena e porzioni di muratura a cassa vuota, con una percentuale media di riempimento del 50%. Fanno eccezione i maschi murari della chiesa e i locali interrati che hanno pareti piene.

I **solai** sono in **latero-cemento**, costituiti da putrelle IPN 100 al primo livello, con travi trasversali, e IPN 140/160 al sottotetto, ad interasse 90 cm circa, tavole di laterizio di 6x25 con riempimento di calcestruzzo per uno spessore di 4 cm circa.

Il solaio del sottotetto è stato completato con uno strato di materiale isolante invece i solai ai piani abitabili sono completati da uno strato di sottofondo e uno strato di pavimentazione.

Per quanto concerne la chiesa, il solaio al piano terra è costituito da una soletta in c.a., con travi ribassate, mentre il solaio di sottotetto è in putrelle e tavelloni, con travi trasversali IPE200 e calcestruzzo di riempimento.

Il **solaio di copertura** è a due falde disuguali, con il colmo che poggia ad intervalli non uguali su pilastrini 35x35 di muratura o su capriate lignee. La falda sul corpo laterale alla chiesa è in continuità con quella del portico.

Nel cortile è presente una **tettoia** ad una falda con struttura in c.a., affiancata alla chiesa e risvoltante sul lato sud del cortile.



Immagine 2. Vista dal cortile interno lato nord Ex-Cottolengo



Immagine 3. Vista dal cortile interno lato sud Ex-Cottolengo



Immagine 4. Vista dal cortile interno lato est Ex-Cottolengo



Immagine 5. Vista lato est da strada Nazario Sauro Ex-Cottolengo

4.3 Descrizione dell'intervento

L'intervento consiste nell'**isolamento dell'involucro edilizio** per limitare la dispersione del flusso termico, che attraversa gli elementi disperdenti⁵ dell'involucro da un ambiente interno riscaldato verso un ambiente esterno; tale operazione avviene mediante la posa in opera di un sistema a cappotto interno, ovvero aggiungendo alla stratigrafia un elemento termoisolante.

Inoltre, si esegue la **realizzazione di un nuovo corpo scala**, dotato di ascensore, per il collegamento al piano primo; si **sostituiscono i serramenti esterni**, per migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio, si esegue il **rifacimento degli impianti di riscaldamento/raffrescamento, elettrici e idraulici** e si attua la **ridistribuzione interna** degli spazi. Nelle porzioni di fabbricato sprovviste di interrato, si realizza un **vespaio areato** al piano terra per mitigare la presenza di umidità negli ambienti interni.

E' previsto anche un **intervento di restauro conservativo negli ambienti interni alla Chiesa**, comprendendo altresì l'altare, le stazioni della via crucis e il lampadario in ferro battuto.

Nel cortile esterno, si esegue la **realizzazione di un nuovo portico** in acciaio e legno, andando a sostituire quello esistente in c.a. .

⁵ Elementi disperdenti: strutture verticali (muri perimetrali, serramenti, ecc) e strutture orizzontali (solai di copertura, di interpiano ecc.) che dividono l'ambiente riscaldato interno da un ambiente non riscaldato sia esterno che interno.

È prevista la posa in opera della **pavimentazione in porfido** al di sotto del portico esterno e la **realizzazione di nuovi cancelli di ingresso**, uno pedonale ed uno carrabile, in corrispondenza dell'attuale ingresso di fronte agli spazi della Protezione Civile.

Si riporta di seguito un elenco completo ma non esaustivo delle lavorazioni previste e prevedibili nell'intervento oggetto d'esame.

Opere strutturali:

- Rinforzo di maschi in muratura, con riempimento e ricostruzione tramite tecnica del cuci e scuci;
- Consolidamento dei solai piani in putrelle e laterizi, con cappa armata collaborante;
- Consolidamento della copertura lignea con inserimento di saette e rinforzo di nodi con elementi metallici;
- Rifacimento di scala interna con rampe e pianerottoli in c.a. e di porzione di orizzontamento, con nuovo solaio misto in c.a. e laterizio;
- Struttura per ascensore interno, con basamento in cls e castelletto metallico;
- Ripristino di singoli elementi in calcestruzzo ammalorati;
- Verifica della consistenza dei parapetti metallici del balcone prospiciente il cortile interno ed eventuale consolidamento degli attacchi senza modifiche geometriche;
- Verifica della stabilità e consistenza degli sporti del balcone con battitura ed esame ravvicinato (modiglioni e lastre), con eventuale sigillatura di lesioni con iniezioni di resine;
- Consolidamento della cella campanaria sulla copertura a lato della chiesa con telaio metallico tassellato sul retro ed ancorato a banchina metallica nel sottotetto;
- Demolizione di tettoia aperta in c.a. con copertura in legno.
- Nuova tettoia aperta con fondazioni a plinti isolati, massetto continuo in c.a., colonne e travi di banchina metalliche, copertura ad una falda in legno lamellare, strutturalmente indipendente dall'edificio esistente.

Opere edili:

- Demolizioni e rimozioni;
- Lattonerie e impermeabilizzazioni;
- Pavimentazioni esterne;
- Opere di restauro;

- Serramenti esterni;
- Carpenterie metalliche;
- Isolamento termoacustico.

4.4 Pianificazione: Analisi Ambientale

Riferimenti normativi: Norma UNI EN ISO 14001: § 4.3

4.4.1 Aspetti Ambientali

Si illustrano di seguito i criteri generali che individuano gli aspetti ambientali significativi relativi alle varie fasi del cantiere.

Si analizzano tutte le componenti ambientali annesse e si individuano le attività di mitigazione da svolgere.

In particolare, si analizzano le seguenti sfere ambientali:

- atmosfera;
- materie prime ed energia;
- rumore;
- vegetazione e fauna;
- acque superficiali ed acque sotterranee;
- suolo e sottosuolo;
- rifiuti.

4.4.1.1 Inquinamento atmosferico

L'inquinamento atmosferico, annesso alle attività di cantiere, è causato principalmente dalla **diffusione di polveri in fase di cantierizzazione, di costruzione e demolizione dell'opera**, dalla **diffusione di polveri per il transito dei mezzi di cantiere e per le attività di costruzione** e dalle **emissioni dei fumi di combustione di mezzi ed attrezzature** utilizzate durante le attività di costruzione.

Per la corretta elaborazione dei dati, è stato eseguito un **sondaggio geognostico** fino alla profondità di m 9 con prove SPT, rilievo della falda (non rinvenuta) e classificazione del materiale.

I risultati delle indagini hanno permesso di stabilire, in sintesi, quanto segue:

Dal punto di vista geo-idrologico, i depositi affioranti presso l'area in esame risalgono al Pliocene / Medio-Pleistocene Superiore (ghiaie e sabbie in matrice limosa).

La **falda** è posta a profondità > 10 m da p.c. (circa 11-12 m) e non interessa le fondazioni dell'edificio.

I risultati dei sondaggi e relative **prove geotecniche**, unitamente alle prove di tipo **geofisico(MASW e HVSR)**, hanno evidenziato il seguente assetto stratigrafico ed il conseguente modello geotecnico, qui di seguito richiamato:

Unità	Profondità	γ	γ (sat)	DRk	ϕ' (k)	c' (k)	E(k)
	[m]	[t/m ³]	[t/m ³]		[°]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1-Terreni di riporto limosi	Da 0 a - 1.50/1.70	1,75	1.90	5-10%	20	0	100
2- Limi sciolti	Da -1.50 a - 4.30	1,80	1.95	31%	27	0	248
3-Ghiaie e sabbie	Oltre -4.30 (sond. S1) oltre -1.70 (sond. S2)	1,85	1.95	51%	32	0	404

Dove:

- γ = Peso specifico del terreno [t/m³];
- γ_{sat} = Peso specifico del terreno saturo [t/m³];
- DRk = Densità relativa [%];
- ϕ' (k) = Angolo di attrito [°];
- c' = Coesione del terreno [kg/cm²];
- E(k) = Modulo di elasticità [kg/cm²].

Per il calcolo delle emissioni di polveri si considerano gli automezzi maggiormente utilizzati nelle varie attività di cantiere, sia per il trasporto di materiale che per la demolizione di alcune opere o per il getto di calcestruzzo:

- Autocarro e Autocarro con braccio idraulico;
- Autogru;
- Pala meccanica;
- Autobetoniera;
- Autopompa;
- Escavatore con benna ed Escavatore con martellone.

Le attrezzature maggiormente utilizzate nelle varie attività di cantiere, considerate nel calcolo delle emissioni di polveri, sono le seguenti:

- Sega circolare/elettrica;
- Apparecchi di sollevamento;
- Saldatrice;
- Tagliapiastrelle;
- Piegaferri.

4.4.1.1.1 Diffusione di polveri in fase di cantierizzazione, di costruzione e demolizione dell'opera

Le fasi del cantiere che causano la diffusione delle polveri sono innumerevoli; la scarsità di dati e formule in letteratura non consentono di stimare l'effettiva emissione di polveri in atmosfera dovuta all'intero processo di costruzione dell'opera ma, al contempo, è possibile stimare l'impatto delle fasi più significative del cantiere.

Per il calcolo dell'**emissione di polveri** nelle varie attività di cantierizzazione, costruzione e demolizione, E_i , si utilizza la seguente formula:

$$E_i = EF_i \times A \text{ [g/h]} \quad (1)$$

dove:

i = particolato (PM10, PM);

EF_i = Fattore di emissione [g/t];

A = indicatore dell'attività (kg materiale lavorato/h).

• Impianto di betonaggio

Le attività legate all'impianto di betonaggio che interessano il cantiere di Orbassano sono:

- scarico dell'autobetoniera.

Per il calcolo di A , indice di attività, si considerano i m³ di calcestruzzo per il getto delle fondazioni e delle strutture in elevazione, i giorni di lavorazione del calcestruzzo e le ore lavorative giornaliere:

$$A = \frac{\text{Calcestruzzo da gettare} \cdot \text{peso specifico}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}} = \frac{158,246 \text{ m}^3 \cdot 1440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{8 \cdot 20 \text{ h}}$$

$$= 202392,00 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività sono riportati nel documento AP-42 cap.11.12⁶.

La tabella seguente riporta i fattori di emissione in condizioni non controllata, ovvero quando non è attuato il contenimento del sollevamento delle polveri, e in condizione controllata, ovvero quando vi è l'abbattimento del sollevamento delle polveri, delle polveri, in particolare PM e PM10⁷:

Tabella 1. Fattori di emissione delle polveri - Concrete Batching

Source (SCC)	Uncontrolled				Controlled			
	Total PM	Emission Factor Rating	Total PM ₁₀	Emission Factor Rating	Total PM	Emission Factor Rating	Total PM ₁₀	Emission Factor Rating
Aggregate transfer ^b (3-05-011-04,-21,23)	0.0035	D	0.0017	D	ND		ND	
Sand transfer ^b (3-05-011-05,22,24)	0.0011	D	0.00051	D	ND		ND	
Cement unloading to elevated storage silo (pneumatic) ^c (3-05-011-07)	0.36	E	0.24	E	0.00050	D	0.00017	D
Cement supplement unloading to elevated storage silo (pneumatic) ^d (3-05-011-17)	1.57	E	0.65	E	0.0045	D	0.0024	E
Weigh hopper loading ^e (3-05-011-08)	0.0026	D	0.0013	D	ND		ND	
Mixer loading (central mix) ^f (3-05-011-09)	0.286 or Eqn. 11.12-1	B	0.078 or Eqn. 11.12-1	B	0.0092 or Eqn. 11.12-1	B	0.0028 or Eqn. 11.12-1	B
Truck loading (truck mix) ^g (3-05-011-10)	0.559	B	0.155	B	0.049 or Eqn. 11.12-1	B	0.0131 or Eqn. 11.12-1	B
Vehicle traffic (paved roads)	See AP-42 Section 13.2.1, Paved Roads							
Vehicle traffic (unpaved roads)	See AP-42 Section 13.2.2, Unpaved Roads							
Wind erosion from aggregate and sand storage piles	See AP-42 Section 13.2.5, Industrial Wind Erosion							

Dunque, si considera per il PM:

Carico/scarico autobetoniera: $EF = \sum EFi = 0,599 \text{ [kg/t]}$

Si considera per il PM10:

Carico/scarico autobetoniera: $EF = \sum EFi = 0,155 \text{ [kg/t]}$

⁶ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 11, 11.12 Concrete Batching – Final Section – June 2006 (EPA, 2006).

⁷ L'acronimo PM deriva dal termine inglese "Particulate Matter" (materiale particolato) e viene utilizzato per indicare le polveri sottili.

È l'insieme di particelle di grandezza inferiore al micron, solide e liquide, di diversa natura e composizione chimica, che si trovano in sospensione nell'aria che respiriamo.

A seconda della loro dimensione si distinguono le polveri sottili in PM10, PM2.5 e PM1, dove il numero che segue la sigla PM sta ad indicare il diametro della particella.

Considerando l'emissione di entrambe le polveri sottili, PM e PM10, si ottiene EF=0,754 kg/t

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{impianto di betonaggio}} = 953,772 \text{ g/h}$$

- **Rinforzo muratura**

Si esegue il rinforzo delle partizioni esterne ed interne in muratura costituite da mattoni pieni e malta di calce.

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano i m² di muratura soggetti alla lavorazione stessa, la durata dei lavori in ore e la percentuale di macerie prodotte, stimata al 10%:

$$A = \frac{\text{Area muratura} \cdot \text{Peso specifico muratura} \cdot \text{percentuale macerie prodotte}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}}$$

$$= \frac{397,1 \text{ m}^2 \cdot 1700 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,1}{8 \text{ h} \cdot 10 \text{ gg}} = 843,84 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività sono riportati nel documento AP-42 cap.11.19.2. "Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing"⁸

La tabella seguente riporta i fattori di emissione delle polveri, in particolare PM10:

Tabella 2. Fattori di emissione delle polveri- Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing

Source ^b	Total Particulate Matter ^c	EMISSION FACTOR RATING	Total PM-10	EMISSION FACTOR RATING	Total PM-2.5	EMISSION FACTOR RATING
Primary Crushing (SCC 3-05-020-01)	ND		ND ^a		ND ^a	
Primary Crushing (controlled) (SCC 3-05-020-01)	ND		ND ^a		ND ^a	
Secondary Crushing (SCC 3-05-020-02)	ND		ND ^a		ND ^a	
Secondary Crushing (controlled) (SCC 3-05-020-02)	ND		ND ^a		ND ^a	
Tertiary Crushing (SCC 3-050030-03)	0.0027 ^d	E	0.0012 ^e	C	ND ^a	
Tertiary Crushing (controlled) (SCC 3-05-020-03)	0.0006 ^d	E	0.00027 ^e	C	0.00005 ^h	E
Fines Crushing (SCC 3-05-020-05)	0.0195 ^e	E	0.0075 ^e	E	ND	
Fines Crushing (controlled) (SCC 3-05-020-05)	0.0015 ^f	E	0.0006 ^f	E	0.000035 ^h	E
Screening (SCC 3-05-020-02_03)	0.0125 ^e	E	0.0043 ^f	C	ND	
Screening (controlled) (SCC 3-05-020-02_03)	0.0011 ^d	E	0.00037 ^g	C	0.000025 ^h	E
Fines Screening (SCC 3-05-020-21)	0.15 ^g	E	0.036 ^g	E	ND	
Fines Screening (controlled) (SCC 3-05-020-21)	0.0018 ^g	E	0.0011 ^g	E	ND	
Conveyor Transfer Point (SCC 3-05-020-06)	0.0015 ^h	E	0.00055 ^h	D	ND	
Conveyor Transfer Point (controlled) (SCC 3-05-020-06)	0.00007 ⁱ	E	2.3 x 10 ⁻²⁶	D	6.5 x 10 ⁻²⁶	E
Wet Drilling - Unfragmented Stone (SCC 3-05-020-10)	ND		4.0 x 10 ⁻²⁹	E	ND	
Truck Unloading - Fragmented Stone (SCC 3-05-020-31)	ND		8.0 x 10 ⁻²⁷	E	ND	
Truck Loading - Conveyor, crushed stone (SCC 3-05-020-32)	ND		5.0 x 10 ⁻²⁸	E	ND	

⁸ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 11, 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing – Final Section – June 2006 (EPA, 2006).

Si considera il fattore di emissione di PM10 durante l'attività di foratura della pietra, in quanto il carico, trasporto e scarico della pietra frantumata tramite automezzo si considera nel paragrafo successivo 4.4.1.1.2.

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{rinforzo muratura}} = 0,034 \text{ g/h}$$

- **Consolidamento solai:**

Si esegue il consolidamento dei solai in acciaio e laterizi al piano primo, sottotetto e copertura tramite il getto di cappa in calcestruzzo alleggerito tipo LECA1600 con interposizione di rete elettrosaldata Ø8 20x20.

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano i m² dei solai soggetti alla lavorazione stessa, la durata dei lavori in ore e la percentuale di macerie prodotte, stimata al 40%:

$$A1 = \frac{\text{Area solaio} \cdot \text{Peso solaio in laterocemento} \cdot \text{percentuale macerie prodotte}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}}$$

$$= \frac{353,92 \text{ m}^2 \cdot 240 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,4}{8 \text{ h} \cdot 10 \text{ gg}} = 424,70 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$A2 = \frac{\text{Peso barre d'acciaio}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}} = \frac{3733,49 \text{ kg}}{8 \text{ h} \cdot 10 \text{ gg}} = 46,67 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività per il solaio in laterocemento non sono presenti, si è scelto di utilizzare i dati riportati nel documento AP-42 cap.11.19.2 "Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing"⁹.

La tabella seguente riporta i fattori di emissione delle polveri, in particolare PM10:

⁹ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 11, 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing – Final Section – June 2006 (EPA, 2006).

Tabella 3. Fattori di emissione delle polveri- Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing

Source ^a	Total Particulate Matter ^{1,5}	EMISSION FACTOR RATING	Total PM-10	EMISSION FACTOR RATING	Total PM-2.5	EMISSION FACTOR RATING
Primary Crushing (SCC 3-05-020-01)	ND		ND ^a		ND ^a	
Primary Crushing (controlled) (SCC 3-05-020-01)	ND		ND ^a		ND ^a	
Secondary Crushing (SCC 3-05-020-02)	ND		ND ^a		ND ^a	
Secondary Crushing (controlled) (SCC 3-05-020-02)	ND		ND ^a		ND ^a	
Tertiary Crushing (SCC 3-050030-03)	0.0027 ^d	E	0.0012 ^a	C	ND ^a	
Tertiary Crushing (controlled) (SCC 3-05-020-03)	0.0006 ^d	E	0.00027 ^a	C	0.00005 ^a	E
Fines Crushing (SCC 3-05-020-05)	0.0195 ^e	E	0.0075 ^e	E	ND	
Fines Crushing (controlled) (SCC 3-05-020-05)	0.0015 ^f	E	0.0006 ^f	E	0.000035 ^a	E
Screening (SCC 3-05-020-02_03)	0.0125 ^e	E	0.0043 ^f	C	ND	
Screening (controlled) (SCC 3-05-020-02_03)	0.0011 ^g	E	0.00037 ^m	C	0.000025 ^a	E
Fines Screening (SCC 3-05-020-21)	0.15 ^h	E	0.036 ^g	E	ND	
Fines Screening (controlled) (SCC 3-05-020-21)	0.0018 ^h	E	0.0011 ^h	E	ND	
Conveyor Transfer Point (SCC 3-05-020-06)	0.0015 ³	E	0.00055 ³	D	ND	
Conveyor Transfer Point (controlled) (SCC 3-05-020-06)	0.00007 ⁱ	E	2.3 x 10 ⁻⁵ⁱ	D	6.5 x 10 ^{-6a}	E
Wet Drilling - Unfragmented Stone (SCC 3-05-020-10)	ND		4.0 x 10 ^{-5j}	E	ND	
Truck Unloading - Fragmented Stone (SCC 3-05-020-31)	ND		8.0 x 10 ^{-6k}	E	ND	
Truck Loading - Conveyor, crushed stone (SCC 3-05-020-32)	ND		5.0 x 10 ^{-5k}	E	ND	

Si considera il fattore di emissione di PM10 durante l'attività di foratura della pietra.

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività per lo stoccaggio delle barre d'acciaio sono riportati nel documento AP-42 cap.12.5 "Iron And Steel Production"¹⁰.

La tabella seguente riporta i fattori di emissione delle polveri, in particolare PM10:

¹⁰ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, 12.5 Iron And Steel Production – Final Section – June 2006 (EPA, 2006).

Tabella 4. Fattori di emissione delle polveri- Iron And Steel Production

Operation	Emissions By Particle Size Range (Aerodynamic Diameter)					Units ^b	EMISSION FACTOR RATING
	≤ 30 μm	≤ 15 μm	≤ 10 μm	≤ 5 μm	≤ 2.5 μm		
Continuous Drop Conveyor transfer station sinter ^c	13	9.0	6.5	4.2	2.3	g/Mg lb/ton	D D
	0.026	0.018	0.013	0.0084	0.0046		
Pile formation stacker pellet ore ^c	1.2	0.75	0.55	0.32	0.17	g/Mg lb/ton	B B
	0.0024	0.0015	0.0011	0.00064	0.00034		
Lump ore ^c	0.15	0.095	0.075	0.040	0.022	g/Mg lb/ton	C C
	0.00030	0.00019	0.00015	0.000081	0.000043		
Coal ^d	0.055	0.034	0.026	0.014	0.0075	g/Mg lb/ton	E E
	0.00011	0.000068	0.000052	0.000028	0.000015		
Batch drop Front end loader/truck ^c	13	8.5	6.5	4.0	2.3	g/Mg lb/ton	C C
	0.026	0.017	0.013	0.0080	0.0046		
High silt slag	4.4	2.9	2.2	1.4	0.8	g/Mg lb/ton	C C
	0.0088	0.0058	0.0043	0.0028	0.0016		
Low silt slag	4.4	2.9	2.2	1.4	0.8	g/Mg lb/ton	C C
	0.0088	0.0058	0.0043	0.0028	0.0016		
Vehicle travel on unpaved roads Light duty vehicle ^d	0.51	0.37	0.28	0.18	0.10	kg/VKT lb/VMT	C C
	1.8	1.3	1.0	0.64	0.36		
Medium duty vehicle ^d	2.1	1.5	1.2	0.70	0.42	kg/VKT lb/VMT	C C
	7.3	5.2	4.1	2.5	1.5		
Heavy duty vehicle ^d	3.9	2.7	2.1	1.4	0.76	kg/VKT lb/VMT	B B
	14	9.7	7.6	4.8	2.7		
Vehicle travel on paved roads Light/heavy vehicle mix ^c	0.22	0.16	0.12	0.079	0.042	kg/VKT lb/VMT	C C
	0.78	0.58	0.44	0.28	0.15		

Si considera unicamente il particolato PM10 emesso durante la fase di stoccaggio delle barre d'acciaio, in quanto il carico, trasporto e scarico del materiale tramite automezzi è stato calcolato nel paragrafo seguente 4.4.1.1.2.

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{consolidamento solai}} = E_{\text{frantumazione solaio}} + E_{\text{stoccaggio barre d'acciaio}} = 25,668 + 0,017 = 25,685 \text{ g/h}$$

- **Consolidamento copertura lignea:**

Il consolidamento della copertura lignea consiste nella posa in opera di puntoni, capriate e carpenteria varia.

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano il peso della carpenteria e la durata dei lavori in ore:

$$A = \frac{\text{Peso carpenteria}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}} = \frac{3176 \text{ kg}}{8 \text{ h} \cdot 7 \text{ gg}} = 56,73 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività per lo stoccaggio delle barre d'acciaio sono riportati nel documento AP-42 cap.12.5 "Iron And Steel Production"¹¹.

La tabella seguente riporta i fattori di emissione delle polveri, in particolare PM10:

Tabella 5. Fattori di emissione delle polveri- Iron And Steel Production

Operation	Emissions By Particle Size Range (Aerodynamic Diameter)					Units ^b	EMISSION FACTOR RATING
	≤ 30 μm	≤ 15 μm	≤ 10 μm	≤ 5 μm	≤ 2.5 μm		
Continuous Drop Conveyor transfer station sinter ^c	13	9.0	6.5	4.2	2.3	g/Mg	D
	0.026	0.018	0.013	0.0084	0.0046	lb/ton	D
Pile formation stacker pellet ore ^c	1.2	0.75	0.55	0.32	0.17	g/Mg	B
	0.0024	0.0015	0.0011	0.00064	0.00034	lb/ton	B
Lump ore ^c	0.15	0.095	0.075	0.040	0.022	g/Mg	C
	0.00030	0.00019	0.00015	0.000081	0.000043	lb/ton	C
Coal ^d	0.055	0.034	0.026	0.014	0.0075	g/Mg	E
	0.00011	0.000068	0.000052	0.000028	0.000015	lb/ton	E
Batch drop Front end loader/truck ^c							
High silt slag	13	8.5	6.5	4.0	2.3	g/Mg	C
	0.026	0.017	0.013	0.0080	0.0046	lb/ton	C
Low silt slag	4.4	2.9	2.2	1.4	0.8	g/Mg	C
	0.0088	0.0058	0.0043	0.0028	0.0016	lb/ton	C
Vehicle travel on unpaved roads Light duty vehicle ^d						kg/VKT	C
	0.51	0.37	0.28	0.18	0.10	lb/VMT	C
	1.8	1.3	1.0	0.64	0.36		
Medium duty vehicle ^d	2.1	1.5	1.2	0.70	0.42	kg/VKT	C
	7.3	5.2	4.1	2.5	1.5	lb/VMT	C
Heavy duty vehicle ^d	3.9	2.7	2.1	1.4	0.76	kg/VKT	B
	14	9.7	7.6	4.8	2.7	lb/VMT	B
Vehicle travel on paved roads Light/heavy vehicle mix ^c							C
	0.22	0.16	0.12	0.079	0.042	kg/VKT	C
	0.78	0.58	0.44	0.28	0.15	lb/VMT	C

Si considera unicamente il particolato PM10 emesso durante la fase di stoccaggio delle barre d'acciaio, in quanto il carico, trasporto e scarico del materiale tramite automezzi è stato calcolato nel paragrafo seguente 4.4.1.1.2.

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{consolidamento copertura lignea}} = 31,201 \text{ g/h}$$

- **Posa del ferro lavorato delle strutture verticali**

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano i kg delle barre di armature e la durata dei lavori in ore:

¹¹ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, 12.5 Iron And Steel Production – Final Section – June 2006 (EPA, 2006).

$$A = \frac{\text{Peso barre d'acciaio}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}} = \frac{149,60 \text{ kg}}{8 \text{ h} \cdot 9 \text{ gg}} = 2,078 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività per lo stoccaggio delle barre d'acciaio sono riportati nel documento AP-42 cap.12.5 "Iron And Steel Production"¹².

La tabella seguente riporta i fattori di emissione delle polveri, in particolare PM10:

Tabella 6. Fattori di emissione delle polveri- Iron And Steel Production

Operation	Emissions By Particle Size Range (Aerodynamic Diameter)					Units ^b	EMISSION FACTOR RATING
	≤ 30 μm	≤ 15 μm	≤ 10 μm	≤ 5 μm	≤ 2.5 μm		
Continuous Drop Conveyor transfer station sinter ^c	13	9.0	6.5	4.2	2.3	g/Mg lb/ton	D D
	0.026	0.018	0.013	0.0084	0.0046		
Pile formation stacker pellet ore ^c	1.2	0.75	0.55	0.32	0.17	g/Mg lb/ton	B B
	0.0024	0.0015	0.0011	0.00064	0.00034		
Lump ore ^c	0.15	0.095	0.075	0.040	0.022	g/Mg lb/ton	C C
	0.00030	0.00019	0.00015	0.000081	0.000043		
Coal ^d	0.055	0.034	0.026	0.014	0.0075	g/Mg lb/ton	E E
	0.00011	0.000068	0.000052	0.000028	0.000015		
Batch drop Front end loader/truck ^c	13	8.5	6.5	4.0	2.3	g/Mg lb/ton	C C
	0.026	0.017	0.013	0.0080	0.0046		
High silt slag	4.4	2.9	2.2	1.4	0.8	g/Mg lb/ton	C C
	0.0088	0.0058	0.0043	0.0028	0.0016		
Low silt slag	0.51	0.37	0.28	0.18	0.10	kg/VKT lb/VMT	C C
	1.8	1.3	1.0	0.64	0.36		
Vehicle travel on unpaved roads Light duty vehicle ^d	2.1	1.5	1.2	0.70	0.42	kg/VKT lb/VMT	C C
	7.3	5.2	4.1	2.5	1.5		
Medium duty vehicle ^d	3.9	2.7	2.1	1.4	0.76	kg/VKT lb/VMT	B B
	14	9.7	7.6	4.8	2.7		
Heavy duty vehicle ^d	0.22	0.16	0.12	0.079	0.042	kg/VKT lb/VMT	C C
	0.78	0.58	0.44	0.28	0.15		
Vehicle travel on paved roads Light/heavy vehicle mix ^c	0.22	0.16	0.12	0.079	0.042	kg/VKT lb/VMT	C C
	0.78	0.58	0.44	0.28	0.15		

Si considera unicamente il particolato PM10 emesso durante la fase di stoccaggio delle barre d'acciaio, in quanto il carico, trasporto e scarico del materiale tramite automezzi è stato calcolato nel paragrafo seguente 4.4.1.1.2.

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{posa del ferro lavorato str.vert.}} = 1,143 \text{ g/h}$$

¹² Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, 12.5 Iron And Steel Production – Final Section – June 2006 (EPA, 2006).

- **Posa del ferro lavorato delle fondazioni**

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano i kg delle barre di armature e la durata dei lavori in ore:

$$A = \frac{\text{Peso barre d'acciaio}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}} = \frac{1196,80 \text{ kg}}{8 \text{ h} \cdot 9 \text{ gg}} = 16,62 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività per lo stoccaggio delle barre d'acciaio sono riportati nel documento AP-42 cap.12.5 "Iron And Steel Production"¹³.

La tabella seguente riporta i fattori di emissione delle polveri, in particolare PM10:

Tabella 7. Fattori di emissione delle polveri-Iron And Steel Production

Operation	Emissions By Particle Size Range (Aerodynamic Diameter)					Units ^b	EMISSION FACTOR RATING
	≤ 30 μm	≤ 15 μm	≤ 10 μm	≤ 5 μm	≤ 2.5 μm		
Continuous Drop Conveyor transfer station sinter ^a	13	9.0	6.5	4.2	2.3	g/Mg lb/ton	D D
	0.026	0.018	0.013	0.0084	0.0046		
Pile formation stacker pellet ore ^c	1.2	0.75	0.55	0.32	0.17	g/Mg lb/ton	B B
	0.0024	0.0015	0.0011	0.00064	0.00034		
Lump ore ^c	0.15	0.095	0.075	0.040	0.022	g/Mg lb/ton	C C
	0.00030	0.00019	0.00015	0.000081	0.000043		
Coal ^d	0.055	0.034	0.026	0.014	0.0075	g/Mg lb/ton	E E
	0.00011	0.000068	0.000052	0.000028	0.000015		
Batch drop Front end loader/truck ^c	13	8.5	6.5	4.0	2.3	g/Mg lb/ton	C C
High silt slag	4.4	2.9	2.2	1.4	0.8	g/Mg lb/ton	C C
Low silt slag						kg/VKT lb/VMT	C C
Vehicle travel on unpaved roads Light duty vehicle ^d	0.51	0.37	0.28	0.18	0.10	kg/VKT lb/VMT	C C
	1.8	1.3	1.0	0.64	0.36		
Medium duty vehicle ^d	2.1	1.5	1.2	0.70	0.42	kg/VKT lb/VMT	C C
	7.3	5.2	4.1	2.5	1.5		
Heavy duty vehicle ^d	3.9	2.7	2.1	1.4	0.76	kg/VKT lb/VMT	B B
	14	9.7	7.6	4.8	2.7		
Vehicle travel on paved roads Light/heavy vehicle mix ^c						kg/VKT lb/VMT	C C
	0.22	0.16	0.12	0.079	0.042		
	0.78	0.58	0.44	0.28	0.15		

Si considera unicamente il particolato PM10 emesso durante la fase di stoccaggio delle barre d'acciaio, in quanto il carico, trasporto e scarico del materiale tramite automezzi è stato calcolato nel paragrafo seguente 4.4.1.1.2.

Applicando la (1) si ottiene:

¹³ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, 12.5 Iron And Steel Production – Final Section – June 2006 (EPA, 2006).

$E_{\text{posa del ferro lavorato str.vert.}} = 9,142 \text{ g/h}$

- **Demolizione tettoia**

Si esegue la demolizione della tettoia in c.a. presente nel cortile esterno.

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano i m^2 della tettoia, la durata dei lavori in ore e la percentuale di macerie prodotte, stimata al 90%:

$$A = \frac{\text{Area tettoia} \cdot \text{Peso conglomerato cementizio armato} \cdot \text{percentuale macerie prodotte}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}}$$

$$= \frac{28 \text{ m}^2 \cdot 2400 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,9}{8 \text{ h} \cdot 7 \text{ gg}} = 1080,00 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione relativi alla demolizione di una struttura in c.a non sono presenti nei documenti AP-42, si è scelto di utilizzare la tabella relativa al trattamento del materiale superficiale, proposti dalla Linee Guida per determinate attività con il relativo codice SCC, disponibili sul database FIRE1.

Tabella 8. Fattori di emissione delle polveri-Attività generiche

SCC	operazione	Fattore di emissione in kg	note	Unità di misura
3-05-010-33	Drilling Overburden	0.072		kg per ciascun foro effettuato
3-05-010-36	Dragline: Overburden Removal	$\frac{9,3 \times 10^{-4} \times (H/0,30)^{0,7}}{M^{0,3}}$	H è l'altezza di caduta in m, M il contenuto percentuale di umidità del materiale	kg per ogni m ³ di copertura rimossa
3-05-010-37	Truck Loading: Overburden	0.0075		kg per ogni Mg di materiale caricato
3-05-010-42	Truck Unloading: Bottom Dump - Overburden	0.0005		kg per ogni Mg di materiale scaricato
3-05-010-45	Bulldozing: Overburden	$\frac{0,3375 \times s^{1,5}}{M^{1,4}}$	s è il contenuto di silt (vedi § 1.5), M il contenuto di umidità del materiale, espressi in percentuale	kg per ogni ora di attività
3-05-010-48	Overburden Replacement	0.003		kg per ogni Mg di materiale processato

In particolare si considera il fattore di emissione della perforazione di un materiale generico.

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{demolizione tettoia}} = 77,760 \text{ g/h}$$

- **Posa in opera struttura in legno in copertura**

Si esegue la posa in opera della trave in legno in copertura.

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano i m^3 della trave, la durata dei lavori in ore e la percentuale di macerie prodotte, stimata al 40%:

$$A = \frac{\text{Volume trave} \cdot \text{Peso specifico legno} \cdot \text{percentuale macerie prodotte}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}}$$

$$= \frac{8,15 \text{ m}^3 \cdot 4000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,4}{8 \text{ h} \cdot 7 \text{ gg}} = 232,86 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione relativi delle polveri sottili emesse durante il taglio della trave con sega elettrica non sono presenti nei documenti AP-42, si è scelto di utilizzare la tabella relativa al trattamento del materiale superficiale, proposti dalla Linee Guida per determinate attività con il relativo codice SCC, disponibili sul database FIRE1.

Tabella 9. Fattori di emissione delle polveri- Attività generiche

SCC	operazione	Fattore di emissione in kg	note	Unità di misura
3-05-010-33	Drilling Overburden	0.072		kg per ciascun foro effettuato
3-05-010-36	Dragline: Overburden Removal	$\frac{9,3 \times 10^{-4} \times (H/0.30)^{0.7}}{M^{0.3}}$	H è l'altezza di caduta in m, M il contenuto percentuale di umidità del materiale	kg per ogni m ³ di copertura rimossa
3-05-010-37	Truck Loading: Overburden	0.0075		kg per ogni Mg di materiale caricato
3-05-010-42	Truck Unloading: Bottom Dump - Overburden	0.0005		kg per ogni Mg di materiale scaricato
3-05-010-45	Bulldozing: Overburden	$\frac{0.3375 \times s^{1.5}}{M^{1.4}}$	s è il contenuto di silt (vedi § 1.5), M il contenuto di umidità del materiale, espressi in percentuale	kg per ogni ora di attività
3-05-010-48	Overburden Replacement	0.003		kg per ogni Mg di materiale processato

In particolare si considera il fattore di emissione della perforazione di un materiale generico.

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{trave in legno}} = 16,76 \text{ g/h}$$

- **Pavimentazione esterna**

Si esegue la posa in opera di piastrelle in porfido nell'area del porticato esterno.

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano i m² dell'area da pavimentare, la durata dei lavori in ore e la percentuale di macerie prodotte, stimata al 20%:

$$A = \frac{\text{Volume materiale} \cdot \text{Peso specifico porfido} \cdot \text{percentuale macerie prodotte}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}}$$

$$= \frac{2,8 \text{ m}^3 \cdot 26000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,2}{8 \text{ h} \cdot 8 \text{ gg}} = 14560,00 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività per lo stoccaggio del rivestimento in porfido sono riportati nel documento AP-42 cap.11.21 "Phosphate Rock Processing"¹⁴.

La tabella seguente riporta i fattori di emissione delle polveri durante lo stoccaggio e trasporto del materiale, in particolare PM:

Tabella 10. Fattori di emissione delle polveri-Phosphate Rock Processing

Process	Filterable PM ^b				Condensable PM ^c			
	PM		PM-10		Inorganic		Organic	
	kg/Mg Of Total Feed	EMISSION FACTOR RATING	kg/Mg Of Total Feed	EMISSION FACTOR RATING	kg/Mg Of Total Feed	EMISSION FACTOR RATING	kg/Mg Of Total Feed	EMISSION FACTOR RATING
Dryer (SCC 3-05-019-01) ^d	2.9	D	2.4	E	ND		ND	
Dryer with scrubber (SCC 3-05-019-01) ^e	0.035	D	ND		0.015	D	ND	
Dryer with ESP (SCC 3-05-019-01) ^d	0.016	D	ND		0.004	D	ND	
Grinder (SCC 3-05-019-02) ^d	0.8	C	ND		ND		ND	
Grinder with fabric filter (SCC 3-05-019-02) ^f	0.0022	D	ND		0.0011	D	ND	
Calciner (SCC 3-05-019-05) ^d	7.7	D	7.4	E	ND		ND	
Calciner with scrubber (SCC 3-05-019-05)	0.10 ^g	C	ND		0.0079 ^g	C	0.044 ^h	D
Transfer and storage (SCC 3-05-019-_) ^d	2	E	ND		ND		ND	

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{pavimentazione esterna}} = 291,20 \text{ g/h}$$

- **Carpenterie metalliche**

Per il calcolo di A, indice di attività, si considerano i kg delle barre di armature e la durata dei lavori in ore:

$$A = \frac{\text{Peso carpenteria metallica}}{\text{ore lavorative giornaliere} \cdot \text{giorni di lavoro}} = \frac{11080,25 \text{ kg}}{8 \text{ h} \cdot 14 \text{ gg}} = 98,93 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

I fattori di emissione e i corrispondenti indicatori dell'attività per lo stoccaggio delle barre d'acciaio sono riportati nel documento AP-42 cap.12.5 "Iron And Steel Production"¹⁵.

La tabella seguente riporta i fattori di emissione delle polveri, in particolare PM10:

¹⁴ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 11, 11.21 Phosphate Rock Processing– Final Section – June 2006 (EPA, 2006)

¹⁵ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, 12.5 Iron And Steel Production – Final Section – June 2006 (EPA, 2006)

Tabella 11. Fattori di emissione delle polveri-And Steel Production

Operation	Emissions By Particle Size Range (Aerodynamic Diameter)					Units ^b	EMISSION FACTOR RATING
	≤ 30 μm	≤ 15 μm	≤ 10 μm	≤ 5 μm	≤ 2.5 μm		
Continuous Drop Conveyor transfer station sinter ^c	13	9.0	6.5	4.2	2.3	g/Mg lb/ton	D
	0.026	0.018	0.013	0.0084	0.0046		D
Pile formation stacker pellet ore ^c	1.2	0.75	0.55	0.32	0.17	g/Mg lb/ton	B
	0.0024	0.0015	0.0011	0.00064	0.00034		B
Lump ore ^c	0.15	0.095	0.075	0.040	0.022	g/Mg lb/ton	C
	0.00030	0.00019	0.00015	0.000081	0.000043		C
Coal ^d	0.055	0.034	0.026	0.014	0.0075	g/Mg lb/ton	E
	0.00011	0.000068	0.000052	0.000028	0.000015		E
Batch drop Front end loader/truck ^c	13	8.5	6.5	4.0	2.3	g/Mg lb/ton	C
	0.026	0.017	0.013	0.0080	0.0046		C
High silt slag	4.4	2.9	2.2	1.4	0.8	g/Mg lb/ton	C
	0.0088	0.0058	0.0043	0.0028	0.0016		C
Low silt slag	4.4	2.9	2.2	1.4	0.8	g/Mg lb/ton	C
	0.0088	0.0058	0.0043	0.0028	0.0016		C
Vehicle travel on unpaved roads Light duty vehicle ^d	0.51	0.37	0.28	0.18	0.10	kg/VKT lb/VMT	C
	1.8	1.3	1.0	0.64	0.36		C
Medium duty vehicle ^d	2.1	1.5	1.2	0.70	0.42	kg/VKT lb/VMT	C
	7.3	5.2	4.1	2.5	1.5		C
Heavy duty vehicle ^d	3.9	2.7	2.1	1.4	0.76	kg/VKT lb/VMT	B
	14	9.7	7.6	4.8	2.7		B
Vehicle travel on paved roads Light/heavy vehicle mix ^c	0.22	0.16	0.12	0.079	0.042	kg/VKT lb/VMT	C
	0.78	0.58	0.44	0.28	0.15		C

Si considera unicamente il particolato PM10 emesso durante la fase di stoccaggio delle barre d'acciaio, in quanto il carico, trasporto e scarico del materiale tramite automezzi è stato calcolato nel paragrafo seguente 4.4.1.1.2.

Applicando la (1) si ottiene:

$$E_{\text{carpenteria metallica}} = 54,41 \text{ g/h}$$

4.4.1.1.2 Diffusione di polveri dovuta al transito dei mezzi d'opera

Per analizzare ed individuare le emissioni di polveri sottili in atmosfera, in particolare di PM10, indotte dal transito dei mezzi su strada pavimentata dell'area di cantiere, viene utilizzato un modello emissivo proposto al paragrafo 13.2.1 "paved roads" dell'AP-42¹⁶.

Si descrivono di seguito i metodi di calcolo utilizzati per i diversi tipi di lavorazioni, considerando la diversa influenza sul risultato finale dei vari fattori ambientali che variano a seconda dell'attività stessa, al fine di ottenere una migliore stima delle emissioni di polveri in atmosfera:

¹⁶ Fonte: AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 13, 13.2.1 Paved Roads – Final Section - January (2011)

- **Recinzione di cantiere:**

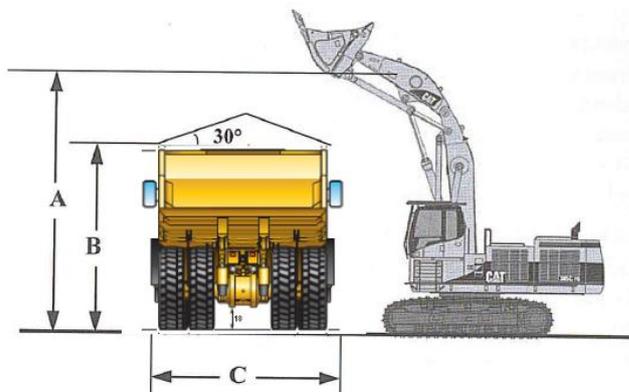
L'allestimento del cantiere comprende la recinzione del cantiere e la disposizione degli accessi al cantiere.

Per la recinzione di cantiere si utilizza un autocarro per il trasporto delle recinzioni temporanee e dei cancelli da cantiere.

Di seguito vi è la scheda tecnica dell'autocarro utilizzato in cantiere:

AUTOCARRI - DUMPERS

Criteri di scelta



Altezza ottimale di caricamento :

$$A > B + \frac{C \cdot \tan(30^\circ)}{2}$$

Caratteristiche tecniche - Esempio



MODEL	772	
Body Type	Medium Impact Steel Flat Floor	
Gross Machine Weight	82 100 kg	181,000 lb
Chassis Weight*	25 425 kg	56,053 lb
Body Weight	10 439 kg	23,013 lb
Payload Without Liner	46 236 kg	101,934 lb
Standard Liner Weight	-	
Target Payload**	46 236 kg	101,934 lb
Capacity:		
Struck (SAE)	23.3 m³	30.5 yd³
Heaped (2:1) (SAE)	31.3 m³	41.0 yd³
Distribution Empty:		
Front	48%	
Rear	52%	
Distribution Loaded:		
Front	33%	
Rear	67%	
Engine Model	C18 ACERT	
Number of Cylinders	6	
Bore	145 mm	5.7"
Stroke	183 mm	7.2"
Displacement	18 L	1105 in³
Net Power	309 kW	535 hp
Gross Power	446 kW	598 hp
Standard Tires	21.00R33 (E4)	
Machine Clearance/Turning Circle	21.6 m	70'10"
Fuel Tank Refill Capacity	529 L	140 U.S. gal
Top Speed (Loaded)	79.7 km/h	49.5 mph
GENERAL DIMENSIONS (Empty):		
Height to Canopy/Rock Guard Rail	4.22 m	13'10"
Wheelbase	3.96 m	13'0"
Overall Length (Operating)	8.74 m	28'9"
Overall Length (Shipping)	8.74 m	28'9"
Loading Height (Empty)	3.90 m	12'8"
Height at Full Dump	8.36 m	27'5"
Body Length (Target Length)	5.55 m	18'3"
Width (Operating)	4.75 m	15'5"
Width (Shipping)***	3.95 m	13'0"
Front Tire Tread	3.17 m	10'5"

Per il calcolo della **produzione oraria** si utilizza la seguente:

$$P_{0,autocarro} = \frac{1}{t_c} \cdot Q \cdot \eta \text{ [km/h] (2)}$$

Dove:

- Q = quantità media di materiale spostata per ciclo o distanza percorsa per ciclo;
- t_c = tempo medio di ogni ciclo;
- η = efficienza o rendimento.

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di carico alla zona di scarico – non la portata massima dell'automezzo in quanto non trasporta materiale polverulento-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il **tempo di ciclo** è :

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{\text{variabile}}$ = tempo che occorre all'autocarro per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche del caricatore:

$$t_c = \frac{Q_{\text{autocarro}}}{Q_{\text{caricatore}}} t_{\text{caricatore}}$$

dove:

$Q_{\text{caricatore}}$ e $Q_{\text{autocarro}}$ corrispondono al carico effettivo del caricatore e dell'autocarro;

$t_{\text{caricatore}}$ è il tempo ciclo del caricatore.

Non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 5min.

Dunque $t_{\text{fisso}} = 0,4 + 5 + 1,2 = 6,6 \text{ min} = 396 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico, la velocità media dell'autocarro.

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]}}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6$$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]}}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6 = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 396 + 19,44 = 415,44 \text{ sec}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autocarro** durante l'allestimento della recinzione di cantiere:

$$P_{0,\text{autocarro}} = \frac{1}{t_c} \cdot \text{Distanza percorso} \cdot \eta = \frac{1}{415,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,18 \frac{m}{\text{sec}} = 0,66 \frac{km}{h}^{17}$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

La formula finale sarà quindi:

$$E_i = EF_i \times kmh \text{ [g/h]} \quad (3)$$

dove:

i = particolato (PTS, PM10, PM2.5);

kmh = percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo (km/h).

Per il calcolo di EF, Fattore di emissione della strada pavimentata, si seguono le Linee Guida che prevedono di applicare il modello emissivo proposto al paragrafo 13.2.1 "paved roads" dell'AP-42.

La quantità di **emissioni di polveri presenti sul manto stradale** dovuto al transito dei veicoli su una strada pavimentata può essere stimata utilizzando la seguente formula empirica:

$$EF = [k (sL)^{0,91} (W)^{1,02}] (1 - 1,2 \frac{P}{N})^{18} \quad (4)$$

Dove;

EF = fattore di emissione (g/km);

sL = contenuto di limo dello strato superficiale delle aree pavimentate percorse dai mezzi imposto pari a 1% [g/m²];

W = peso medio dei mezzi di cantiere che percorrono le aree considerate [t];

P= numero di giorni "umidi" con almeno 0,254 mm di precipitazioni durante un anno¹⁹;

N = numero di ore in un anno =8760 [h]

k = costante moltiplicativa variabile in funzione della dimensione delle particelle [g/km].

Si considera:

sL= 1%;

W= È importante notare che l'equazione (4) richiede il peso medio di tutti i veicoli che percorrono la strada. Più specificamente, l'equazione (4) non è destinata a essere utilizzata per calcolare un fattore di emissione separato per ciascuna classe di peso del veicolo. Occorre

¹⁷ $P_{0,autocarro} = A = kmh =$ percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]

¹⁸ Il moltiplicatore 1,2 è applicato per tenere conto dell'effetto mitigante residuo dell'umidità.

¹⁹ Un giorno umido è un giorno con al minimo 1 millimetro di precipitazione liquida o equivalente ad acqua.

invece calcolare un solo fattore di emissione per rappresentare il peso medio della "flotta" di tutti i veicoli che percorrono la strada = 30 t

Per il calcolo di giorni umidi ad Orbassano si calcola la media dei giorni umidi mensili dell'anno 2021:



Figura 2. Giorni umidi, Orbassano (TO), anno2021, Fonte: WeatherSpark.com

P = 6,075 giorni;

La seguente tabella riporta i valori della costante moltiplicativa k:

Tabella 12. Valori della costante moltiplicativa k

Size range ^a	Particle Size Multiplier k ^b		
	g/VKT	g/VMT	lb/VMT
PM-2.5 ^c	0.15	0.25	0.00054
PM-10	0.62	1.00	0.0022
PM-15	0.77	1.23	0.0027
PM-30 ^d	3.23	5.24	0.011

^a Refers to airborne particulate matter (PM-x) with an aerodynamic diameter equal to or less than x micrometers

^b Units shown are grams per vehicle kilometer traveled (g/VKT), grams per vehicle mile traveled (g/VMT), and pounds per vehicle mile traveled (lb/VMT). The multiplier k includes unit conversions to produce emission factors in the units shown for the indicated size range from the mixed units required in Equation 1.

^c The k-factors for PM_{2.5} were based on the average PM_{2.5}:PM₁₀ ratio of test runs in Reference 30.

^d PM-30 is sometimes termed "suspensible particulate" (SP) and is often used as a surrogate for TSP.

k= 0,62 g/km

Dunque applicando la (4) si ottiene:

EF= 0,301 g/km

Inoltre se si prevedono dei sistemi di abbattimento delle emissioni polverulente dovute al transito dei mezzi, come per esempio il sistema di bagnatura del sito di cantiere ad intervalli periodici e regolari. La formula proposta per la stima dell'efficienza di abbattimento è la seguente:

$$ER = 100 - (0,8 \cdot P \cdot trh \cdot \tau) / I \quad (5)$$

dove:

- ER = efficienza di abbattimento (%);
- P = potenziale medio dell'evaporazione giornaliera pari a 0,34 mm/h;
- Trh = traffico medio orario (mezzi/h);
- I = quantità media del trattamento applicato (l/m^2);
- τ = intervallo di tempo che intercorre tra le applicazioni (h).

Infine, si applica la formula per ricavare l'emissione totale dovuta ai mezzi pesanti:

$$E = A \cdot EF \cdot (1 - ER/100) \quad (6)$$

dove:

E = emissione di polvere [g/h];

A = kmh = percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo (km/h)

EF = fattore di emissione unitario;

ER = fattore di efficienza per la riduzione dell'emissione.

Applicando la (2),(3),(4),(5) si ottiene:

E = Quantitativo polveri emesse = 0,197 g/h;

Applicando la (6):

Ea = Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,01 g/h.

- **Montaggio delle baracche da cantiere:**

L'allestimento del cantiere comprende il trasporto e montaggio delle baracche da cantiere e del ponteggio fisso esterno.

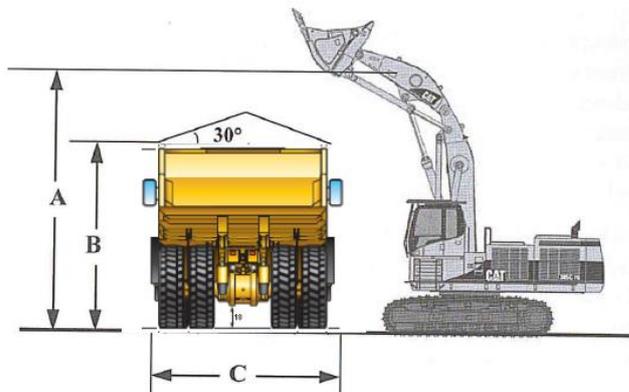
Si prevede la disposizione di 1 servizio igienico e 3 aree rispettivamente per lo scarico di materiale, deposito materiale e area rifiuti.

Per il trasporto delle baracche si utilizza un autocarro e per il montaggio delle stesse un autogru, per il montaggio e lo smontaggio del ponteggio fisso si utilizzano 3 autocarri e 1 autogru.

Di seguito vi è la scheda tecnica dell'autocarro utilizzato in cantiere:

AUTOCARRI - DUMPERS

Criteri di scelta



Altezza ottimale di caricamento :

$$A > B + \frac{C \cdot \tan(30^\circ)}{2}$$



MODEL	772	
Body Type	Medium Impact Steel Flat Floor	
Gross Machine Weight	82 100 kg	181,000 lb
Chassis Weight*	25 425 kg	56,053 lb
Body Weight	10 499 kg	23,013 lb
Payload Without Liner	46 236 kg	101,934 lb
Standard Liner Weight	-	
Target Payload**	46 236 kg	101,934 lb
Capacity:		
Struck (SAE)	23.3 m³	30.5 yd³
Heaped (2:1) (SAE)	31.3 m³	41.0 yd³
Distribution Empty:		
Front	48%	
Rear	52%	
Distribution Loaded:		
Front	33%	
Rear	67%	
Engine Model	C18ACERT	
Number of Cylinders	6	
Bore	145 mm	5.7"
Stroke	183 mm	7.2"
Displacement	18 L	1105 in³
Net Power	309 kW	535 hp
Gross Power	446 kW	596 hp
Standard Tires	21.00R33 (E4)	
Machine Clearance Turning Circle	21.6 m	70'10"
Fuel Tank Refill Capacity	529 L	140 U.S. gal
Top Speed (Loaded)	79.7 km/h	49.5 mph
GENERAL DIMENSIONS (Empty):		
Height to Canopy/Rock Guard/Rail	4.22 m	13'10"
Wheelbase	3.96 m	13'0"
Overall Length (Operating)	8.74 m	28'9"
Overall Length (Shipping)	8.74 m	28'9"
Loading Height (Empty)	3.50 m	11'6"
Height at Full Dump	8.96 m	27'5"
Body Length (Target Length)	5.55 m	18'3"
Width (Operating)	4.75 m	15'8"

Per il calcolo della produzione oraria dell'autocarro, durante il **montaggio delle baracche** da cantiere, si utilizza la formula (2) ma si deve tener presente che, in questo caso, il trasporto avviene prevalentemente su strada asfaltata esterna al cantiere ed il materiale trasportato è costituito da materiale non polverulento, dunque si può assumere nulla l'emissione di polveri dovuta al passaggio degli automezzi.

Per quanto riguarda il **montaggio dei ponteggi** si deve tener presente che solo la metà dei ponteggi è montata nell'area di cantiere, la restante parte sono allestite lungo le facciate su via Nazaro Sauro e sulla strada che porta al parcheggio "Ex Cottolengo".

Per l'esecuzione di tale attività si utilizza un'autogru e 3 autocarri:

Per il calcolo della **produzione oraria dell'autogru** si utilizza la (2).

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di ingresso al cantiere alla zona di utilizzo – non la portata massima dell'automezzo-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il tempo di ciclo è :

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{\text{variabile}}$ = tempo che occorre all'autogru per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche dell'autogru ma, non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 60 min.

Dunque $t_{\text{fisso}} = 0,4 + 60 + 1,2 = 61,6 \text{ min} = 3696 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico, la velocità media dell'autocarro.

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]} \cdot 3,6}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]}$$
$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]} \cdot 3,6}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 3696 + 19,44 = \mathbf{3715,44 \text{ sec}}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autogru**:

$$P_{0,\text{autogru}} = \frac{1}{t_c} \cdot \text{Distanza percorso} \cdot \eta = \frac{1}{3715,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,02 \frac{m}{\text{sec}} = \mathbf{0,07 \frac{km}{h}}^{20}$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Applicando la (2),(3),(4),(5), si ottiene:

E = Quantitativo polveri emesse = 0,022 g/h;

Applicando la (6) si ottiene:

Ea = Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,001 g/h.

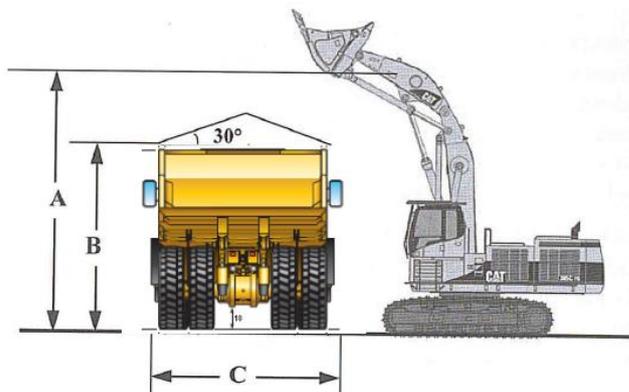
²⁰ $P_{0,\text{autocarro}} = A = \text{kmh} = \text{percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]}$

Per il montaggio del ponteggio si utilizzano 3 autocarri per il trasporto dei ponteggi fissi.

Di seguito vi è la scheda tecnica dell'autocarro utilizzato in cantiere:

AUTOCARRI - DUMPERS

Criteri di scelta



Altezza ottimale di caricamento :

$$A > B + \frac{C \cdot \tan(30^\circ)}{2}$$

Caratteristiche tecniche - Esempio

MODEL		772	
Body Type	Medium Impact Steel Flat Floor		
Gross Machine Weight	82 100 kg	181,000 lb	
Chassis Weight*	25 425 kg	56,053 lb	
Body Weight	10 439 kg	23,013 lb	
Payload Without Liner	46 236 kg	101,934 lb	
Standard Liner Weight	-		
Target Payload**	46 236 kg	101,934 lb	
Capacity:			
Struck (SAE)	23.3 m³	30.5 yd³	
Heaped (2:1) (SAE)	31.3 m³	41.0 yd³	
Distribution Empty:			
Front	48%		
Rear	52%		
Distribution Loaded:			
Front	33%		
Rear	67%		
Engine Model	C18ACERT		
Number of Cylinders	6		
Bore	145 mm	5.7"	
Stroke	183 mm	7.2"	
Displacement	18 L	1105 in³	
Net Power	309 kW	535 hp	
Gross Power	446 kW	598 hp	
Standard Tires	21.00R33 (E4)		
Machine Clearance/Turning Circle	21.6 m	70'10"	
Fuel Tank Refill Capacity	529 L	140 U.S. gal	
Top Speed (Loaded)	79.7 km/h	49.5 mph	
GENERAL DIMENSIONS (Empty):			
Height to Canopy/Rock Guard/Rail	4.22 m	13'10"	
Wheelbase	3.96 m	13'0"	
Overall Length (Operating)	8.74 m	28'9"	
Overall Length (Shipping)	8.74 m	28'9"	
Loading Height (Empty)	3.90 m	12'8"	
Height at Full Dump	8.96 m	29'5"	
Body Length (Target Length)	5.55 m	18'3"	
Width (Operating)	4.75 m	15'5"	
Width (Shipping)***	3.95 m	13'0"	
Front Tire Tread	3.17 m	10'5"	

Per il calcolo della **produzione oraria** si utilizza la seguente:

$$P_{0,autocarro} = \frac{1}{t_c} \cdot Q \cdot \eta \text{ [km/h] (2)}$$

Dove:

- Q = quantità media di materiale spostata per ciclo o distanza percorsa per ciclo;
- t_c = tempo medio di ogni ciclo;
- η = efficienza o rendimento.

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di ingresso al cantiere alla zona di scarico – non la portata massima dell'automezzo in quanto non trasporta materiale polverulento-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il **tempo di ciclo** è :

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{\text{variabile}}$ = tempo che occorre all'autocarro per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche del caricatore:

$$t_c = \frac{Q_{\text{autocarro}}}{Q_{\text{caricatore}}} t_{\text{caricatore}}$$

dove:

$Q_{\text{caricatore}}$ e $Q_{\text{autocarro}}$ corrispondono al carico effettivo del caricatore e dell'autocarro;

$t_{\text{caricatore}}$ è il tempo ciclo del caricatore.

Non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 5min.

Dunque $t_{\text{fisso}} = 0,4 + 5 + 1,2 = 6,6 \text{ min} = 396 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico, la velocità media dell'autocarro.

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]}}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6$$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]}}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6 = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 396 + 19,44 = 415,44 \text{ sec}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autocarro** durante il montaggio dei ponteggi è pari a:

$$P_{0,\text{autocarro}} = \frac{1}{t_c} \cdot \text{Distanza percorso} \cdot \eta = \frac{1}{415,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,18 \frac{m}{sec} = 0,66 \frac{km}{h} \quad ^{21}$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Applicando la (2),(3),(4),(5), si ottiene:

²¹ $P_{0,\text{autocarro}} = A = \text{kmh} = \text{percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]}$

E= Quantitativo polveri emesse= 0,197 g/h;

Applicando la (6) si ottiene:

Ea=Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,039 g/h.

- **Scavi:**

All'interno dell'area da cantiere sono eseguiti gli scavi a sezione obbligata di 43,31 m³ di terreno, mediante l'utilizzo di un escavatore e un camion per il trasporto del terreno da reinterro nell'area di deposito e del terreno di rifiuto nella discarica più vicina.

Tali attività producono polveri che si disperdono in atmosfera, inquinando l'ambiente esterno e pericolose anche per l'inalazione involontaria delle polveri da parte degli addetti ai lavori.

Per il calcolo del volume di terreno da lavorare si considera:

Volume in banco V_b = volume di materiale misurato in situ [m³];

Volume sciolto V_s = volume di materiale in seguito a qualsiasi processo dalla sua posizione iniziale [m³].

Solitamente il materiale da trasportare presenta un volume superiore a quello scavato, **V_s > V_b**.

Quindi per una quantificazione esatta dei mezzi meccanici occorrenti nelle varie fasi di lavorazione si considera un **coefficiente di rigonfiamento del terreno f_r**, ovvero il rapporto tra la differenza di volume sciolto e volume in banco ed il volume in banco in percentuale.

Considerando un coefficiente di rigonfiamento **f_r = 0,22**, ipotizzando un valore medio in assenza di risultati di prove edometriche, si calcola il volume sciolto di terreno:

$$\mathbf{Vs = Vb (1 + fr) [m^3]}$$

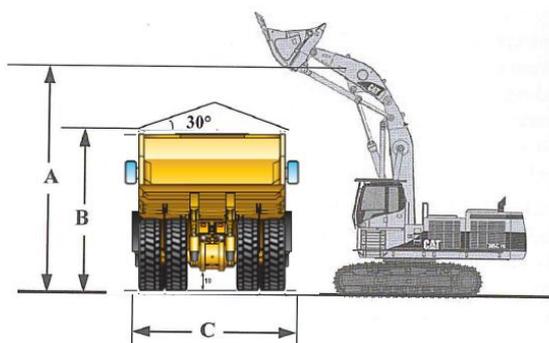
$$\mathbf{Vs = 43,31 (1 + 0,22) = 52,84 [m^3]}$$

Per quanto attiene lo stoccaggio delle terre e rocce da scavo derivanti dallo scavo, si realizza un'area di deposito temporaneo per lo stoccaggio della porzione di terra necessaria al reinterro degli scavi, la restante parte sarà smaltita secondo le modalità previste dalla normativa vigente. L'area per il deposito temporaneo è individuata nell'ambito dei confini dell'area di cantiere, in prossimità del cancello di ingresso carrabile del cantiere.

Per tale attività di cantiere si considera un autocarro e un escavatore:

AUTOCARRI - DUMPERS

Criteri di scelta

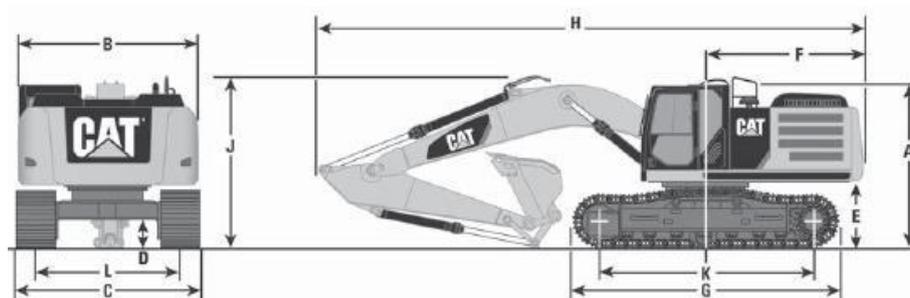


Altezza ottimale di caricamento :

$$A > B + \frac{C \cdot \tan(30^\circ)}{2}$$

Caratteristiche tecniche - Esempio

MODEL	772	
Body Type	Medium Impact Steel Flat Floor	
Gross Machine Weight	82.100 kg	181.000 lb
Chassis Weight*	25.425 kg	56.053 lb
Body Weight	10.499 kg	23.013 lb
Payload Without Liner	46.296 kg	101.934 lb
Standard Liner Weight	-	
Target Payload**	46.296 kg	101.934 lb
Capacity:		
Struck (SAE)	23.3 m³	30.5 yd³
Heaped (2:1) (SAE)	31.3 m³	41.0 yd³
Distribution Empty:		
Front	48%	
Rear	52%	
Distribution Loaded:		
Front	33%	
Rear	67%	
Engine Model	C16 ACERT	
Number of Cylinders	6	
Bore	145 mm	5.7"
Stroke	189 mm	7.2"
Displacement	18 L	1105 in³
Net Power	999 kW	535 hp
Gross Power	446 kW	596 hp
Standard Tires	21.00R33 (E4)	
Machine Clearance Turning Circle	21.6 m	70'10"
Fuel Tank Refill Capacity	529 L	140 U.S. gal
Top Speed (Loaded)	79.7 km/h	49.5 mph
GENERAL DIMENSIONS (Empty):		
Height to Canopy Rock Guard Rail	4.22 m	13'10"
Wheelbase	3.96 m	13'0"
Overall Length (Operating)	8.74 m	28'9"
Overall Length (Shipping)	8.74 m	28'9"
Loading Height (Empty)	3.90 m	11'6"
Height at Full Dump	8.36 m	27'5"
Body Length (Target Length)	5.55 m	18'3"
Width (Operating)	4.75 m	15'5"
Width (Shipping)***	3.95 m	13'0"
Front Tire Tread	3.17 m	10'5"



Per il calcolo della **produzione oraria** si utilizza la formula (2).

Nella pratica, ci si riferisce ad un **carico effettivo** del cassone dell'autocarro (Q_e):

$$Q_e = Q \cdot \text{fill factor}$$

Il fill factor (fattore di riempimento) assume un valore compreso tra 0,9 e 1, si sceglie un valore intermedio pari a 0,95.

La capacità teorica dell'autocarro è difficile da valutare, in genere ci si riferisce al valore dichiarato dalla casa, ovvero il Target Payload, che in questo caso è pari a 46236 kg.

Dunque si ottiene:

$$Q_e = 46236 \cdot 0,95 = 43924,2 \text{ kg.}$$

Q_e è la portata massima del cassone riempito al 95%.

Il tempo di ciclo è :

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{\text{variabile}}$ = tempo che occorre all'autocarro per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche del caricatore:

$$t_c = \frac{Q_{\text{autocarro}}}{Q_{\text{caricatore}}} t_{\text{caricatore}}$$

dove:

$Q_{\text{caricatore}}$ e $Q_{\text{autocarro}}$ corrispondono al carico effettivo del caricatore e dell'autocarro;

$t_{\text{caricatore}}$ è il tempo ciclo del caricatore.

$$Q_{\text{autocarro}} = V_s \times \gamma = 52,84 \text{ m}^3 \times 1750 \text{ kg/m}^3 = 92466,85 \text{ kg};$$

$$Q_{\text{caricatore}} = \text{capacità effettiva benna (si considera un fattore di riempimento pari al 90\%)} = 6,9 \times 0,9 = 6,21 \text{ kg};$$

$$t_{\text{caricatore}} = t_{cb} + t_f + t_t = 0,5 - 0,06 + 0 = 0,44 \text{ min} = 26,4 \text{ sec}$$

Con:

- t_{cb} = tempo ciclo base pari a 0,5 min (tempo di carico, tempo di scarico e tempo per effettuare i 4 spostamenti del ciclo all'interno dello spazio minimo);
- t_f = fattori di correttivi di t_{cb} (pari a -0,06 min);
- t_t = tempo aggiuntivo per spostamenti di carico e scarico al di fuori dello spazio minimo (nullo in questo caso).

Dunque

$$t_c = \frac{92466,85}{6,21} 0,44 = 6551,60 \text{ min} = 393095,79 \text{ sec};$$

$$t_{\text{fisso}} = 0,4 + 6551,60 + 1,2 = 6553,3 \text{ min} = 393192,00 \text{ sec}.$$

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico e dalla velocità media dell'autocarro.

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]}}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6$$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]}}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} \cdot 3,6 = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 393192,00 + 19,44 = 393211,23$ sec.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autocarro** durante l'attività di scavo:

$$P_{0,\text{autocarro}} = \frac{1}{t_c} \cdot Q \cdot \eta = \frac{1}{393211,23} \cdot 92466,85 \cdot 0,7 = 0,16 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} = \mathbf{0,59 \frac{g}{h}}$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Per il calcolo di EF, Fattore di emissione della strada pavimentata, si seguono le Linee Guida che prevedono di applicare il modello emissivo proposto al paragrafo 13.2.1 "paved roads" dell'AP-42, applicando la (4) si ottiene:

EF= 0,301 g/km

Inoltre se si prevedono dei sistemi di abbattimento delle emissioni polverulente dovute al transito dei mezzi su strade non asfaltate, come per esempio il sistema di bagnatura del sito di cantiere ad intervalli periodici e regolari. La formula proposta per la stima dell'efficienza di abbattimento è la (5).

Infine, si applica la formula (6) per ricavare l'emissione totale dovuta ai mezzi pesanti.

Applicando la (2),(3),(4),(5), considerando l'utilizzo di 2 autocarri e 1 escavatore, si ottiene:

E= Quantitativo polveri emesse= 0,535 g/h;

Applicando la (6) si ottiene:

E_a=Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,105 g/h.

- **Getto di calcestruzzo delle strutture verticali**

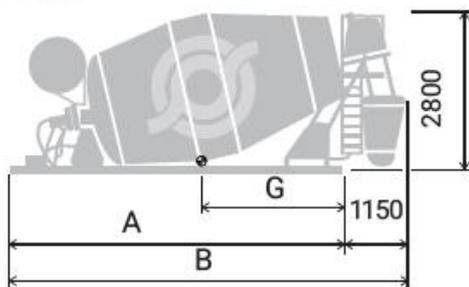
Si esegue il getto di calcestruzzo di 11,43 m³ di strutture in elevazione per la realizzazione del vano scala , del vano ascensore e di una nuova parete al piano terra.

Per l' esecuzione di tale attività si utilizzano un' autobetoniera e un' autopompa, di seguito vi sono le schede tecniche dei rispettivi mezzi d' opera:



* Dati tecnici e caratteristiche sono soggetti a modifiche senza preavviso.

Dati tecnici



CAPACITÀ (m³): 10



**TAMBURO IN ACCIAIO S355JR
SPESSORE 5**



AUTOTELAIO A 3 ASSI



MOTORIZZAZIONE PTO

Tamburo

Capacità nominale	m ³	10
Volume geometrico	m ³	14,3
Coefficiente di riempimento	%	68
Velocità di rotazione	r.p.m.	0 - 14
Diametro	mm	2300
Rulli di rotolamento	r ^e	4
Portata pompa acqua	l / min	400
Pressione pompa acqua	bar	3,5
Scala contatore acqua	l	0 - 500
Capacità serbatoio acqua	l	800

Dimensioni

		RY
Lunghezza telaio (A)	mm	5600
Lunghezza max (B)	mm	6800
Baricentro (G)	mm	2310
Altezza max	mm	2800
Larghezza max	mm	2395
Peso complessivo a vuoto	Kg	4444



* Dati tecnici e caratteristiche soggetti a modifiche senza preavviso

Dati tecnici gruppo pompante

		HP1608EC
Max. produzione teorica	m ³ /h	160
Max. pressione sul calcestruzzo	bar	80
Max numero cicli per min.		31
Canne ds (diam. x corsa)	mm	230 x 2100
Capacità tramoggia	l	550
Circuito oleodinamico		chiuso

Peso totale reale inferiore alle 26 tonnellate, carico utile a disposizione dell'utilizzatore sempre disponibile.

Macchina super compatta montata su camion 8x4 passo 4500* per un'ottima manovrabilità.

Dimensioni stabilizzazione contenute per un facile piazzamento in tutti i tipi di cantiere.



Gestione macchina di serie

Smartronic Silver

- MBE Controllo estensione massima braccio
- Monitor LCD
- Gestione automatica RPM
- Gestione del gruppo pompante
- Diagnostica avanzata
- Pannello di controllo posteriore capsense



MBE
Controllo
estensione
massima braccio



**Gestione
automatica
RPM**

Dati tecnici braccio di distribuzione

		B5RZ 40/36
Diametro tubazioni	mm	125
Max. altezza verticale	m	39,1
Max. distanza in orizzontale (dal centro dell'asse di rotazione)	m	34,5
Min. altezza d'apertura	m	8,6
Numero di sezioni		5
Angolo apertura 1 ^a sez.		90°
Angolo apertura 2 ^a sez.		180°
Angolo apertura 3 ^a sez.		180°
Angolo apertura 4 ^a sez.		236°
Angolo apertura 5 ^a sez.		223°
Angolo di rotazione		+/-270°
Lunghezza tubo terminale in gomma	m	3

Per il calcolo della **produzione oraria** si utilizza la (2)

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di ingresso al cantiere alla zona di getto – non la portata massima dell'automezzo in quanto non trasporta terreno-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il **tempo di ciclo** è :

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{\text{variabile}}$ = tempo che occorre all'autocarro per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche dell'autobetoniera ma, non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 15 min.

Dunque $t_{\text{fisso}} = 0,4 + 15 + 1,2 = 16,6 \text{ min} = 996 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico, la velocità media dell'autocarro.

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]}}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} \cdot 3,6$$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]}}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} \cdot 3,6 = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 996 + 19,44 = \mathbf{1015,44 \text{ sec}}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autopompa** durante il getto:

$$\begin{aligned} P_{0,\text{autopompa}} &= \frac{1}{t_c} \cdot \text{Distanza percorso} \cdot \eta = \frac{1}{1015,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,07 \frac{m}{sec} \\ &= \mathbf{0,27 \frac{km}{h}} \end{aligned}$$

²² $P_{0,\text{autocarro}} = A = \text{kmh} = \text{percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]}$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Applicando la (2),(3),(4),(5), si ottiene:

$E = \text{Quantitativo polveri emesse} = 0,081 \text{ g/h}$;

Applicando la (6) si ottiene:

$E_a = \text{Quantitativo polveri emesse con abbattimento} = 0,011 \text{ g/h}$.

- **Getto di calcestruzzo delle fondazioni:**

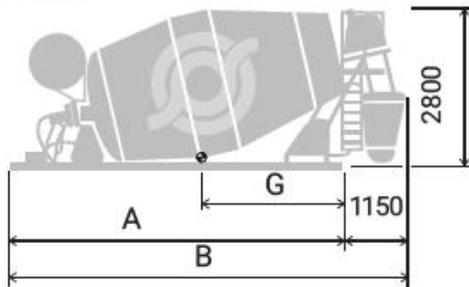
Si esegue il getto di calcestruzzo di $34,84 \text{ m}^3$ di strutture in fondazione per la realizzazione del vano scala, del vano ascensore e dei plinti per la struttura porticata.

Per l'esecuzione di tale attività si utilizzano un'autobetoniera e un'autopompa, di seguito vi sono le schede tecniche dei rispettivi mezzi d'opera:



* Dati tecnici e caratteristiche sono soggetti a modifiche senza preavviso.

Dati tecnici



CAPACITÀ (m³): 10



**TAMBURO IN ACCIAIO S355JR
SPESSORE 5**



AUTOTELAIO A 3 ASSI



MOTORIZZAZIONE PTO

Tamburo

Capacità nominale	m ³	10
Volume geometrico	m ³	14,3
Coefficiente di riempimento	%	68
Velocità di rotazione	r.p.m.	0 - 14
Diametro	mm	2300
Rulli di rotolamento	r ^e	4
Portata pompa acqua	l / min	400
Pressione pompa acqua	bar	3,5
Scala contatore acqua	l	0 - 500
Capacità serbatoio acqua	l	800

Dimensioni

		RY
Lunghezza telaio (A)	mm	5600
Lunghezza max (B)	mm	6800
Baricentro (G)	mm	2310
Altezza max	mm	2800
Larghezza max	mm	2395
Peso complessivo a vuoto	Kg	4444



* Dati tecnici e caratteristiche soggetti a modifiche senza preavviso

Dati tecnici gruppo pompante

		HP1608EC
Max. produzione teorica	m ³ /h	160
Max. pressione sul calcestruzzo	bar	80
Max numero cicli per min.		31
Canne ds (diam. x corsa)	mm	230 x 2100
Capacità tramoggia	l	550
Circuito oleodinamico		chiuso

Peso totale reale inferiore alle 26 tonnellate, carico utile a disposizione dell'utilizzatore sempre disponibile.

Macchina super compatta montata su camion 8x4 passo 4500* per un'ottima manovrabilità.

Dimensioni stabilizzazione contenute per un facile piazzamento in tutti i tipi di cantiere.



Gestione macchina di serie

Smartronic Silver

MBE Controllo estensione massima braccio
Monitor LCD
Gestione automatica RPM
Gestione del gruppo pompante
Diagnostica avanzata
Pannello di controllo posteriore capsense



MBE
Controllo
estensione
massima braccio



**Gestione
automatica
RPM**

Dati tecnici braccio di distribuzione

		B5RZ 40/36
Diametro tubazioni	mm	125
Max. altezza verticale	m	39,1
Max. distanza in orizzontale (dal centro dell'asse di rotazione)	m	34,5
Min. altezza d'apertura	m	8,6
Numero di sezioni		5
Angolo apertura 1 ^a sez.		90°
Angolo apertura 2 ^a sez.		180°
Angolo apertura 3 ^a sez.		180°
Angolo apertura 4 ^a sez.		236°
Angolo apertura 5 ^a sez.		223°
Angolo di rotazione		+/-270°
Lunghezza tubo terminale in gomma	m	3

Per il calcolo della **produzione oraria** si utilizza la (2).

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di ingresso al cantiere alla zona di getto – non la portata massima dell'automezzo in quanto non trasporta terreno-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il tempo di ciclo è :

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{\text{variabile}}$ = tempo che occorre all'autopompa per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche del caricatore ma, non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 15 min.

Dunque $t_{\text{fisso}} = 0,4 + 15 + 1,2 = 16,6 \text{ min} = 996 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico e dalla velocità media dell'autocarro.

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]} \cdot 3,6}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]}$$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]} \cdot 3,6}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autopompa è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 996 + 19,44 = \mathbf{1015,44 \text{ sec}}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autopompa** durante il getto:

$$P_{0,\text{autopompa}} = \frac{1}{t_c} \cdot \text{Distanza percorso} \cdot \eta = \frac{1}{1015,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,07 \frac{m}{sec}$$

$$= \mathbf{0,27 \frac{km}{h}} \quad ^{23}$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

²³ $P_{0,\text{autocarro}} = A = \text{kmh} = \text{percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]}$

Applicando la (2),(3),(4),(5), si ottiene:

E= Quantitativo polveri emesse= 0,081 g/h;

Applicando la (6) si ottiene:

Ea=Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,011 g/h.

- **Posa in opera di strutture verticali in acciaio:**

Si esegue la posa in opera di strutture verticali in acciaio del castelletto.

Per l' esecuzione di tale attività si utilizza un'autogru.

Per il calcolo della **produzione oraria** si utilizza la (2).

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di ingresso al cantiere alla zona di utilizzo – non la portata massima dell'automezzo-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il tempo di ciclo è :

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{\text{variabile}}$ = tempo che occorre all'autogru per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche dell'autogru ma, non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 60 min.

Dunque $t_{\text{fisso}} = 0,4+60+1,2 = 61,6 \text{ min} = 3696 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico, la velocità media dell'autocarro.

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]}}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6$$
$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]}}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6 = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 3696+19,44 = \mathbf{3715,44 \text{ sec}}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autogru:**

$$P_{0,autogru} = \frac{1}{t_c} \cdot Distanza\ percorso \cdot \eta = \frac{1}{3715,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,02 \frac{m}{sec} = \mathbf{0,07 \frac{km}{h}}^{24}$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Applicando la (2),(3),(4),(5), si ottiene:

E= Quantitativo polveri emesse= 0,022 g/h;

Applicando la (6) si ottiene:

Ea=Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,003 g/h.

Per quanto riguarda il **montaggio dei ponteggi** si deve tener presente che solo la metà dei ponteggi è montata nell'area di cantiere, la restante parte sono allestite lungo le facciate su via Nazaro Sauro e sulla strada che porta al parcheggio "Ex Cottolengo".

Per l'esecuzione di tale attività si utilizza un'autogru e 3 autocarri:

Per il calcolo della **produzione oraria dell'autogru** si utilizza la (2).

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di ingresso al cantiere alla zona di utilizzo – non la portata massima dell'automezzo-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il tempo di ciclo è :

$$t_c = t_{fisso} + t_{variabile}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{variabile}$ = tempo che occorre all'autogru per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche dell'autogru ma, non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 60 min.

Dunque $t_{fisso} = 0,4+60+1,2 = 61,6 \text{ min} = 3696 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico, la velocità media dell'autocarro.

²⁴ $P_{0,autocarro} = A = kmh = \text{percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]}$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]}}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} \cdot 3,6$$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]}}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} \cdot 3,6 = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 3696 + 19,44 = \mathbf{3715,44 \text{ sec}}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autogru**:

$$P_{0,\text{autogru}} = \frac{1}{t_c} \cdot \text{Distanza percorso} \cdot \eta = \frac{1}{3715,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,02 \frac{m}{sec} = \mathbf{0,07 \frac{km}{h}} \quad ^{25}$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Applicando la (2),(3),(4),(5), si ottiene:

E= Quantitativo polveri emesse= 0,022 g/h;

Applicando la (6) si ottiene:

Ea=Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,003 g/h.

- **Finiture e installazione impianti**

Le attività previste sono le seguenti:

- Applicazione interna di pannelli isolanti in materiali polimerici;
- Applicazione interna di pannelli isolanti su superfici orizzontali;
- Realizzazione di contropareti e controsoffitti;
- Posa di lucernario;
- Realizzazione di impianto elettrico;
- Realizzazione di impianto di messa a terra;
- Realizzazione di impianto antenna TV;
- Installazione di pompa di calore;
- Realizzazione della rete di distribuzione di impianto idrico-sanitario;
- Realizzazione di impianto di protezione contro le scariche atmosferiche;

²⁵ $P_{0,\text{autocarro}} = A = \text{kmh} = \text{percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]}$

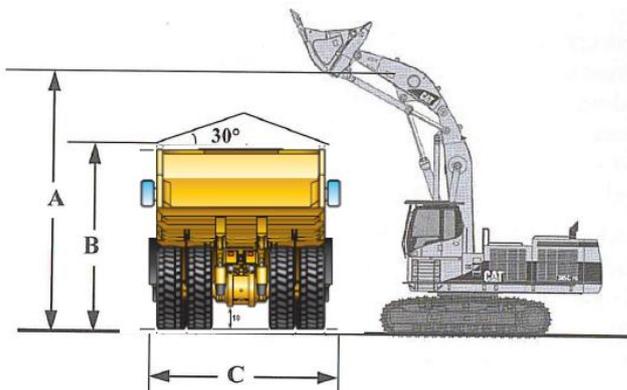
- Installazione della caldaia per produzione acqua calda sanitaria;
- Posa di pavimenti per interni in ceramica;
- Posa di rivestimenti interni in ceramica;
- Posa in opera di soglie, pedate, alzate in marmo;
- Posa di manto di copertura in tegole;
- Montaggio di scossaline e canali di gronda;
- Realizzazione di opere di lattoneria.

Per tali lavorazioni si utilizzano 4 autocarri e 1 autogru.

Di seguito vi è la scheda tecnica dell'autocarro utilizzato in cantiere:

AUTOCARRI - DUMPERS

Criteri di scelta



Altezza ottimale di caricamento :

$$A > B + \frac{C \cdot \tan(30^\circ)}{2}$$

Caratteristiche tecniche - Esempio

MODEL		772	
Body Type	Medium Impact Steel Flat Floor		
Gross Machine Weight	82 100 kg	181,000 lb	
Chassis Weight*	25 425 kg	56,053 lb	
Body Weight	10 499 kg	23,013 lb	
Payload Without Liner	46 236 kg	101,934 lb	
Standard Liner Weight	-		
Target Payload**	46 236 kg	101,934 lb	
Capacity:			
Struck (SAE)	23.3 m³	30.5 yd³	
Heaped (2:1) (SAE)	31.3 m³	41.0 yd³	
Distribution Empty:			
Front	48%		
Rear	52%		
Distribution Loaded:			
Front	33%		
Rear	67%		
Engine Model	C16 ACERT		
Number of Cylinders	6		
Bore	145 mm	5.7"	
Stroke	183 mm	7.2"	
Displacement	18 L	1105 in³	
Net Power	369 kW	535 hp	
Gross Power	446 kW	596 hp	
Standard Tires	21.00R33 (E4)		
Machine Clearance/Turning Circle	21.6 m	70'10"	
Fuel Tank Refill Capacity	529 L	140 U.S. gal	
Top Speed (Loaded)	79.7 km/h	49.5 mph	
GENERAL DIMENSIONS (Empty):			
Height to Canopy/Rock Guard/Rail	4.22 m	13'10"	
Wheelbase	3.96 m	13'0"	
Overall Length (Operating)	8.74 m	28'9"	
Overall Length (Shipping)	8.74 m	28'9"	
Loading Height (Empty)	3.50 m	11'6"	
Height at Full Dump	8.96 m	29'5"	
Body Length (Target Length)	5.55 m	18'3"	
Width (Operating)	4.75 m	15'6"	
Width (Shipping)***	3.95 m	13'0"	
Front Tire Tread	3.17 m	10'5"	

Per il calcolo della **produzione oraria** si utilizza la seguente:

$$P_{0,autocarro} = \frac{1}{t_c} \cdot Q \cdot \eta \text{ [km/h]} \quad (2)$$

Dove:

- Q = quantità media di materiale spostata per ciclo o distanza percorsa per ciclo;
- tc = tempo medio di ogni ciclo;

- η = efficienza o rendimento.

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di ingresso al cantiere alla zona di scarico – non la portata massima dell'automezzo in quanto non trasporta materiale polverulento-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il tempo di ciclo è :

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{\text{variabile}}$ = tempo che occorre all'autocarro per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche del caricatore:

$$t_c = \frac{Q_{\text{autocarro}}}{Q_{\text{caricatore}}} t_{\text{caricatore}}$$

dove:

$Q_{\text{caricatore}}$ e $Q_{\text{autocarro}}$ corrispondono al carico effettivo del caricatore e dell'autocarro;

$t_{\text{caricatore}}$ è il tempo ciclo del caricatore.

Non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 5min.

Dunque $t_{\text{fisso}} = 0,4 + 5 + 1,2 = 6,6 \text{ min} = 396 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico, la velocità media dell'autocarro.

$$t_{\text{variabile}} = \frac{\text{Distanza del percorso [m]}}{\text{velocità media } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6$$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]}}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} 3,6 = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 396 + 19,44 = \mathbf{415,44 \text{ sec}}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autocarro** durante il montaggio dei ponteggi è pari a:

$$P_{0,autocarro} = \frac{1}{t_c} \cdot Distanza percorso \cdot \eta = \frac{1}{415,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,18 \frac{m}{sec} = 0,66 \frac{km}{h}^{26}$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Applicando la (2),(3),(4),(5), si ottiene:

E= Quantitativo polveri emesse= 0,197 g/h;

Applicando la (6) si ottiene:

Ea=Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,052 g/h.

Per il calcolo della **produzione oraria dell'autogru** si utilizza la (2).

In tale attività si considera unicamente il percorso dell'automezzo dalla zona di ingresso al cantiere alla zona di utilizzo – non la portata massima dell'automezzo-, il tempo di ciclo e il rendimento del mezzo.

Il tempo di ciclo è :

$$t_c = t_{fisso} + t_{variabile}$$

t_{fisso} = tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min e tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min;

$t_{variabile}$ = tempo che occorre all'autogru per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa.

Il tempo di carico (al netto di quello di manovra) dipende dalle caratteristiche tecniche dell'autogru ma, non avendo dati certi, si stima un tempo di carico pari a 60 min.

Dunque $t_{fisso} = 0,4+60+1,2 = 61,6 \text{ min} = 3696 \text{ sec}$.

Il tempo variabile è il tempo per il trasporto che dipende dalla distanza del percorso tra la zona di carico e di scarico, la velocità media dell'autocarro.

$$t_{variabile} = \frac{Distanza del percorso [m]}{velocità media [\frac{km}{h}]} \cdot 3,6$$

²⁶ $P_{0,autocarro} = A = kmh = \text{percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]}$

$$t_{\text{variabile}} = \frac{108 \text{ [m]}}{20 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]} \cdot 3,6 = 19,44 \text{ sec}$$

Il tempo di ciclo dell'autocarro è pari a : $t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}} = 3696 + 19,44 = 3715,44 \text{ sec}$.

Si considera un rendimento pari all'70%, ottenendo così la **produzione oraria dell'autogru**:

$$P_{0,\text{autogru}} = \frac{1}{t_c} \cdot \text{Distanza percorso} \cdot \eta = \frac{1}{3715,44} \cdot 108 \cdot 0,7 = 0,02 \frac{m}{sec} = 0,07 \frac{km}{h} \quad 27$$

Per il calcolo dell'**emissione finale di polveri** dovuta al transito dei mezzi pesanti, E_i , si deve individuare la distanza in metri del percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo, il numero medio di viaggi al giorno all'interno del sito ed il numero di ore lavorative al giorno.

Applicando la (2),(3),(4),(5), si ottiene:

E= Quantitativo polveri emesse= 0,022 g/h;

Applicando la (6) si ottiene:

Ea=Quantitativo polveri emesse con abbattimento = 0,003 g/h.

4.4.1.1.3 Emissioni dei fumi di combustione di mezzi d'opera ed attrezzature utilizzate durante le attività di costruzione:

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si fa riferimento al modello Calmet-Calpuff (U.S.EPA, 2006)²⁸ che appartiene alla famiglia dei modelli tridimensionali lagrangiani a puff.

La formula utilizzata per il calcolo delle emissioni di polveri sottili PM e di inquinanti, quali CO, NOX, SOX, CO2, CH4 prodotti dai motori dei mezzi d'opera e delle attrezzature da cantiere, è la seguente:

$$E = n \cdot H \cdot EF \quad (7)$$

Dove:

E = emissioni [lb/h] da moltiplicare per 453,59 così da ottenere [g/h];

n = numero di apparecchiature di una specifica categoria [/];

H = ore al giorno di funzionamento dell'attrezzatura [h];

²⁷ $P_{0,\text{autocarro}} = A = \text{kmh} = \text{percorso di ciascun mezzo nell'unità di tempo [km/h]}$

²⁸ Fonte: <http://www.aqmd.gov/home/rules-compliance/ceqa/air-quality-analysis-handbook/off-road-mobile-source-emission-factors> (2021)

EF^{29} = il fattore di emissione della sorgente per categoria di attrezzatura o categoria d'operai, basata sulla potenza del motore del mezzo/attrezzatura [lb/h]

- **Recinzione di cantiere:**

Per l'attività di recinzione di cantiere si utilizzano:

- 1 autocarro, uno per il trasporto delle recinzioni e cancelli

Dunque:

$n= 1$;

$H=4$;

$EF=$ si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{autocarri}} = 248175,75 \text{ g/h}$$

- **Montaggio delle baracche da cantiere:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività di montaggio delle baracche e dei ponteggi fissi si utilizzano:

- 4 autocarri, per il trasporto delle baracche da cantiere e dei ponteggi;
- 1 autogru, per il sollevamento delle baracche da cantiere e dei ponteggi.

Dunque:

$n= 4;1$;

$H=2;4$;

$EF=$ si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{autocarri}} = 41363,54 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{autogru}} = 12223,26 \text{ g/h}.$$

- **Scavi:**

²⁹ Fonte: Off-road Mobile Source Emission Factors (Scenario Years 2007 – 2025).

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività di scavo si utilizzano:

- 2 autocarri, per il trasporto del terreno in discarica;
- 1 escavatore, per il riempimento degli autocarri.

Dunque:

$$n= 2;1;$$

$$H=4;8;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{escavatore}} = 3848,06 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{autocarri}} = 41363,54 \text{ g/h}.$$

- **Consolidamento solai:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 sega elettrica.

Dunque:

$$n= 1;$$

$$H=4;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{sega elettrica}} = 4473,94 \text{ g/h}.$$

- **Consolidamento coperture lignee:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 sega elettrica;
- 1 apparecchio di sollevamento.

Dunque:

$$n= 1;1;$$

$$H=4;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{sega elettrica}} = 4473,94 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{apparecchio di sollevamento}} = 5854,54 \text{ g/h}$$

- **Casserature in legno per elementi orizzontali:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 sega elettrica;
- 1 apparecchio di sollevamento.

Dunque:

$$n= 1;1;$$

$$H=4;4;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{sega elettrica}} = 4473,94 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{apparecchio di sollevamento}} = 5854,54 \text{ g/h}$$

- **Posa del ferro lavorato:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 apparecchio di sollevamento;

- 1 saldatrice.

Dunque:

$$n= 1;1;$$

$$H=4;2;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{apparecchio di sollevamento}} = 5854,54 \text{ g/h}$$

$$E_{\text{saldatrice}} = 6366,41 \text{ g/h}$$

- **Getto di calcestruzzo delle strutture verticali:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizzano:

- 1 autopompa;
- 1 autobetoniera.

Dunque:

$$n= 1;1;$$

$$H=8;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{autopompa}} = 52442,11 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{autobetoniera}} = 2687,43 \text{ g/h.}$$

- **Casserature in legno per fondazioni:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 sega elettrica;

Dunque:

$n= 1$;

$H=4$;

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$E_{\text{sega elettrica}} = 4473,94 \text{ g/h}$;

- **Posa del ferro lavorato per le fondazioni:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 apparecchio di sollevamento;
- 2 saldatrici.

Dunque:

$n= 1;2$;

$H=4;2$;

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$E_{\text{apparecchio di sollevamento}} = 5854,54 \text{ g/h}$;

$E_{\text{saldatrice}} = 12732,82 \text{ g/h}$.

- **Getto di calcestruzzo delle fondazioni:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizzano:

- 1 autopompa;
- 1 autobetoniera.

Dunque:

$n= 1;1$;

$H=8$;

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{autopompa}} = 52442,11 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{autobetoniera}} = 2687,43 \text{ g/h}.$$

- **Montaggio dell'ascensore oleodinamico:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 apparecchio di sollevamento.

Dunque:

$$n = 1;$$

$$H = 4;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{apparecchio di sollevamento}} = 5854,54 \text{ g/h}$$

- **Posa in opera di strutture verticali in acciaio:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 autogru, per il sollevamento del materiale.

Dunque:

$$n = 1;$$

$$H = 8;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{autogru}} = 24446,53 \text{ g/h}.$$

- **Posa in opera struttura in legno in copertura:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 sega elettrica;
- 1 apparecchio di sollevamento.

Dunque:

$$n= 1;1;$$

$$H=4;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{sega elettrica}} = 4473,94 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{apparecchio di sollevamento}} = 5854,54 \text{ g/h}$$

- **Pavimentazione esterna:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 2 tagliapiastrelle.

Dunque:

$$n= 2;$$

$$H=8;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{tagliapiastrelle}} = 37267,32 \text{ g/h}$$

- **Serramenti esterni:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 sega elettrica;

Dunque:

$$n= 1;$$

$$H=4;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{sega elettrica}} = 4473,94 \text{ g/h};$$

- **Carpenterie metalliche:**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 1 apparecchio di sollevamento;
- 2 piegaferri;
- 2 saldatrici.

Dunque:

$$n= 1;2;2;$$

$$H=4;4;2;$$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$$E_{\text{apparecchio di sollevamento}} = 5854,54 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{piegaferri}} = 38595,13 \text{ g/h};$$

$$E_{\text{saldatrice}} = 12732,82 \text{ g/h}.$$

- **Finiture e installazione impianti**

Per il calcolo dell'emissione dei fumi di combustione dei motori di mezzi ed attrezzature utilizzate in cantiere si utilizza la formula (7).

Per l'attività in esame si utilizza:

- 4 autocarri;
- 1 autogru;
- 2 tagliapiastrelle;
- 1 sega elettrica.

Dunque:

$n = 4;1;2;1;$

$H = 4;6;4;4;$

EF= si hanno diversi fattori di emissione a seconda dell'inquinante e del mezzo/attrezzatura utilizzata.

Applicando la (7) si ottiene:

$E_{\text{autocarri}} = 82727,07 \text{ g/h};$

$E_{\text{autogru}} = 18334,90 \text{ g/h};$

$E_{\text{tagliapiastrelle}} = 18633,66 \text{ g/h}.$

$E_{\text{sega elettrica}} = 4473,94 \text{ g/h}.$

Ricapitolando:

Tabella 13. Tabella riepilogativa emissioni polveri sottili in atmosfera [g/h]

Totale quantitativo polveri PM10 emesse per passaggio automezzi	Totale emissioni in atmosfera dovute ai motori dei mezzi e delle attrezzature	Totale emissioni di PM in atmosfera dovute ai motori dei mezzi e delle attrezzature	Totale quantitativo polveri PM10 per attività di cantiere
1,355	543534,454	65,123	1461,115

Si precisa che nel calcolo del quantitativo di emissioni in atmosfera dovute ai mezzi d'opera e alle attrezzature si considerano non solo le polveri sottili ma anche altri inquinanti, quali CO, NOX, SOX, CH4, CO2 per tale motivo si esegue la somma delle sole emissioni di polveri sottili dal motore dei mezzi e delle attrezzature.

Il cantiere di restauro e ristrutturazione degli immobili "Ex Cottolengo" emette una quantità di polveri sottili, PM10, mediante il sollevamento delle polveri dovuto al passaggio degli automezzi su strada pavimentata del cantiere, l'emissione di polveri sottili dal motore dei mezzi d'opera e delle attrezzature e lo svolgimento delle attività polverulente, pari a:

$E_{\text{tot}} = 1,355 + 65,123 + 1461,115 = 1527,593 \text{ g/h}$

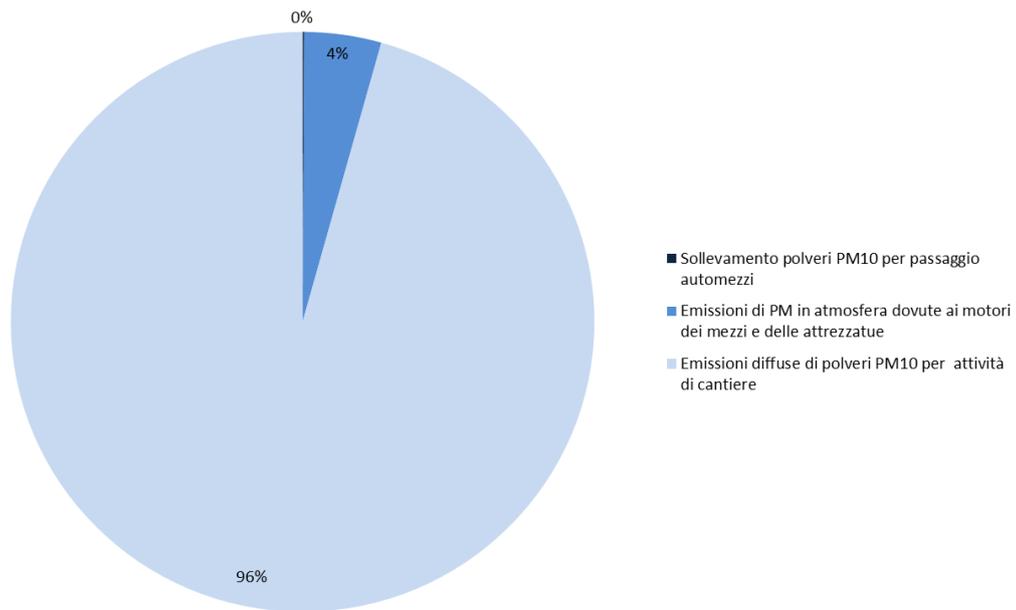


Grafico 1. Emissioni di PM in atmosfera

Si può notare che il 96% delle emissioni di polveri sottili sono dovute alle varie attività di cantierizzazione, costruzione e demolizione, mediante l'utilizzo di mezzi e attrezzature che producono polveri.

Il seguente grafico a torta individua le attività che emettono maggiormente polveri sottili, ovvero lo scarico dell'autobetoniera e la posa in opera della pavimentazione esterna in porfido.

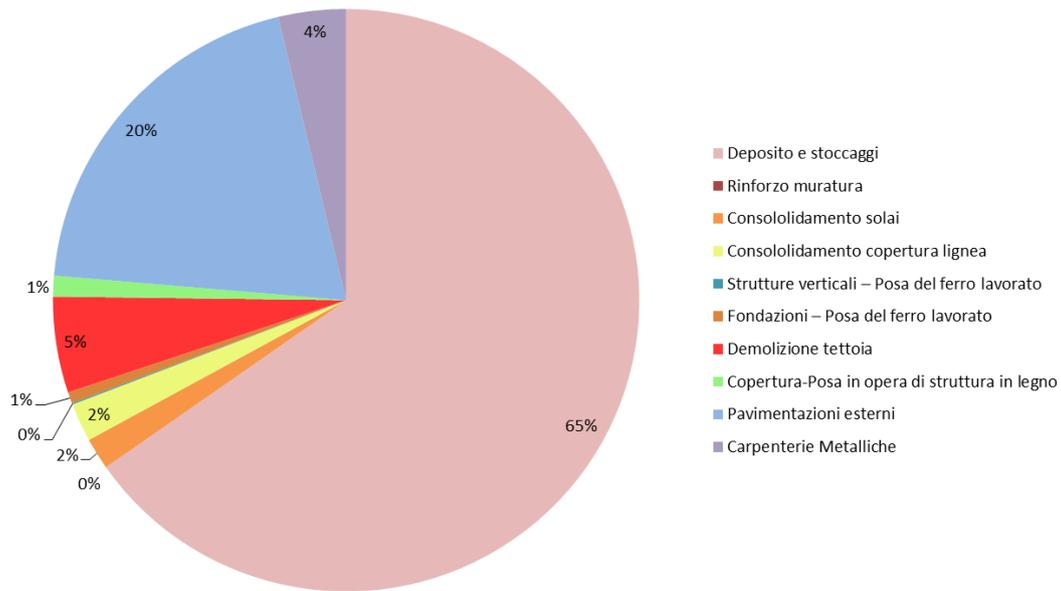


Grafico 2. Emissioni di PM in atmosfera dovute alle attività di cantiere

Le emissioni di inquinanti tra cui PM,CO,CO₂,NOX,SOX,CH₄, dovuti ai fumi dei motori dei mezzi d'opera e delle attrezzature sono molto rilevanti, in quanto impattano maggiormente sull'atmosfera.

Il 99% degli inquinanti emessi dai fumi dei motori è l'anidride carbonica CO₂, facilmente visibile dal seguente grafico a torta:

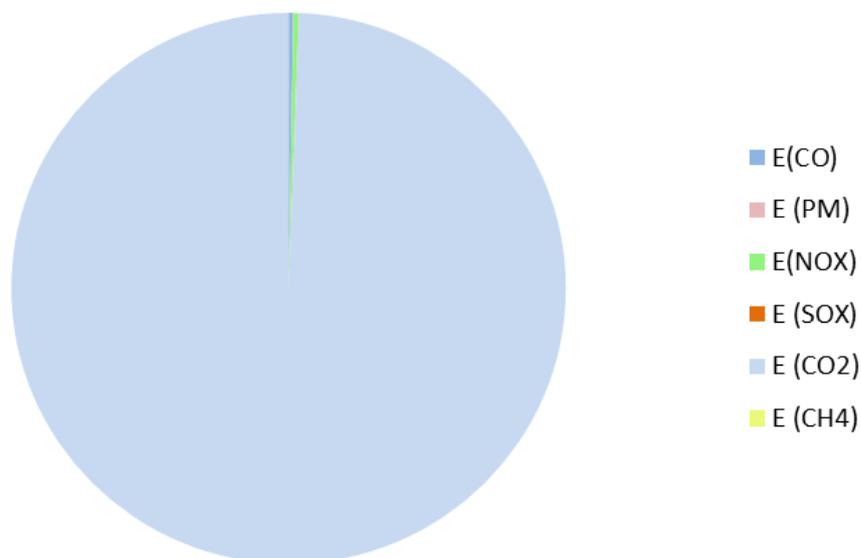


Grafico 3. Inquinanti emessi dai motori

4.4.1.1.4 Emissione di CO₂ dovuta al consumo di energia elettrica e di carburante

Per il calcolo di CO₂ emessa, dovuta all'utilizzo di **energia elettrica**, si moltiplica il consumo totale di energia elettrica per il rispettivo fattore di emissione.

Per la ricerca del fattore di emissione di CO₂ si utilizza l'approccio LCA (Valutazione del Ciclo di Vita), standardizzato a livello internazionale (serie ISO 14040):

I fattori di emissione riguardano l'intero ciclo vita di ogni vettore energetico, considerando le emissioni di gas serra dovute alla combustione del carburante, l'uso, il trasporto e la lavorazione della fornitura energetica, incluse le perdite di energia durante il trasporto e le varie conversioni.

Di seguito vi è la tabella dei fattori di emissione di CO_{2equivalente}³⁰ per l'energia elettrica, secondo l'Approccio LCA³¹, relativi ai vari Paesi europei.

Tabella 14. fattori di emissione di CO₂ per l'energia elettrica

Paese	Fattore di emissione standard (t CO ₂ /MWh _e)	Fattore di emissione LCA (t CO ₂ -eq/MWh _e)
Austria	0,209	0,310
Belgio	0,285	0,402
Germania	0,624	0,706
Danimarca	0,461	0,760
Spagna	0,440	0,639
Finlandia	0,216	0,418
Francia	0,056	0,146
Regno Unito	0,543	0,658
Grecia	1,149	1,167
Irlanda	0,732	0,870
Italia	0,483	0,708
Paesi Bassi	0,435	0,716
Portogallo	0,369	0,750
Svezia	0,023	0,079
Bulgaria	0,819	0,906
Cipro	0,874	1,019
Repubblica Ceca	0,950	0,802
Estonia	0,908	1,593
Ungheria	0,566	0,678
Lituania	0,153	0,174
Lettonia	0,109	0,563
Polonia	1,191	1,185
Romania	0,701	1,084
Slovenia	0,557	0,602
Slovacchia	0,252	0,353
UE-27	0,460	0,578

Dunque si considera:

$$FE=0,708 \text{ [t CO}_{2\text{equivalente}}/\text{MWh]}$$

³⁰ La CO₂ equivalente (CO₂e) è una misura che esprime l'impatto sul riscaldamento globale di una certa quantità di gas serra rispetto alla stessa quantità di anidride carbonica (CO₂). Tonnellate di CO₂ equivalenti si riferisce a una tonnellata di sostanza.

³¹ Fonte: Allegato I – fattori di emissione predefiniti, Linee guida per la presentazione del Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) e dei rapporti di monitoraggio .

I fattori di emissione LCA presentati in queste linee guida sono calcolati usando i valori GWP del 4o Rapporto di valutazione dell'IPCC (IPCC, 2007).

Infine, la quantità di CO_2 equivalente emessa a causa dell'utilizzo di energia elettrica in cantiere è pari:

$$E_{\text{CO}_2} = 31428,57 \text{ kWh}^{32} \cdot 10^{-3} \cdot 0,708 \text{ t CO}_2\text{equivalente/MWh} = 22,25 \text{ t CO}_2\text{equivalente}$$

In letteratura, le emissioni di CO_2 per il consumo di carburante, in particolare Diesel, possono essere calcolate tramite i fattori di emissione SCAB (South Coast Air Basin) Fleet Average Emission Factors dei mezzi di costruzione, che considerano sia i mezzi d'opera che le attrezzature di cantiere.

Si può stimare l'emissione totale di CO_2 dovuta al consumo di Diesel dei mezzi e delle attrezzature di cantiere pari a **12967478,6 g/h**.

Tramite il cronoprogramma e le ore effettive di utilizzo dei mezzi nel corso degli 11 mesi di attività, è possibile stimare i giorni effettivi di utilizzo dei mezzi, pari a circa 302.

Si stima dunque che l'emissione totale di CO_2 è pari a **3916,18 t CO_2** .

4.4.1.1.5 Limiti normativi

In conformità al metodo di calcolo utilizzato, la soglia limite per la protezione della salute umana è individuata dalla seguente tabella:

SOGLIE DI EMISSIONE DEFINITE DALLE LINEE GUIDA						
Distanza (m)	Giorni di emissione annui					
	>300	300-250	250-200	200-150	150-100	<100
0-50	145	152	158	167	180	208
50-100	312	321	347	378	449	628
100-150	608	663	720	836	1038	1492
>150	830	908	986	1145	1422	2044

Soglie assolute di emissione di PM10 al variare della distanza dalla sorgente e al variare del numero di giorni di emissione (g/h)

Si considera una distanza dalla sorgente, ovvero il cantiere, dei recettori sensibili, ovvero alberi, piante, ecosistemi, maggiore di 150 m ed una durata delle emissioni maggiori di 300 giorni, in quanto i lavori hanno una durata di 11 mesi.

Dunque il limite di emissione di PM10 imposto è pari a 830 g/h.

Il cantiere di restauro e ristrutturazione degli immobili "Ex Cottolengo" emette polveri sottili PM10 e PM pari a 1529,221 g/h.

Dunque la **soglia limite non è rispettata**.

³² Vedere paragrafo 4.4.1.2 per il calcolo del consumo di energia elettrica e di carburante.

4.4.1.2 Utilizzo di materie prime ed energia

Per il restauro e la rifunzionalizzazione degli immobili “Ex Cottolengo” si utilizzano, come in tutti i cantieri, mezzi d’opera e attrezzature che comportano un grosso consumo di energia elettrica, carburante e materie prime.

La stima dell’impatto ambientale derivante dalle attività del cantiere può essere effettuata tramite un confronto con un cantiere simile, in termini di modalità operative e tipologia, e formule empiriche.

Si considerano in particolare:

- consumi elettrici del cantiere;
- consumi idrici;
- consumi di carburante.

- **Consumi elettrici di cantiere**

Per calcolare il consumo elettrico del cantiere si considera:

- Il consumo elettrico medio, stimato dall’analisi dei consumi elettrici di un cantiere simile, è di 2857,14 kWh al mese;
- Il cantiere sito ad Orbassano ha una durata di 11 mesi, considerando il cronoprogramma del cantiere.

Il consumo elettrico previsto per l’intera durata del cantiere è di **31428,57 kWh**.

- **Consumi idrici**

In assenza di dati effettivi del cantiere, per il calcolo dei consumi idrici si fa riferimento ad un cantiere simile, in termini di metodologia e lavorazioni.

- Il consumo idrico medio, stimato dall’analisi dei consumi di un cantiere simile, è di 6,24 m³ al mese;
- Il cantiere sito ad Orbassano ha una durata di 11 mesi, considerando il cronoprogramma del cantiere.

Il consumo idrico previsto per l’intera durata del cantiere è di **68,59 m³**.

- **Consumo di carburante**

Per il calcolo del consumo di carburante si fa riferimento alla norma **ISO DIS 10987**.

Si elencano di seguito i mezzi d'opera utilizzati, i dati tecnici necessari e le ore di utilizzo degli stessi.

- 2 Autocarri IVECO Euro VI:

Combustibile = Diesel;

Potenza nominale = 500 hp;

Consumo specifico del motore $k = 0,17 \text{ kg/hp h}$;

Ore lavorative = 48 h

- 1 Autogru ATF 130G-5:

Combustibile = Diesel;

Potenza nominale = 175 hp;

Consumo specifico del motore $k = 0,17 \text{ kg/hp h}$;

Ore lavorative = 96 h

- 1 Escavatore CAT 311F LRR:

Combustibile = Diesel;

Potenza nominale = 71 hp;

Consumo specifico del motore $k = 0,17 \text{ kg/hp h}$;

Ore lavorative = 8 h

- 1 Autopompa CIFA K40H:

Combustibile = Diesel;

Potenza nominale = 500 hp;

Consumo specifico del motore $k = 0,17 \text{ kg/hp h}$;

Ore lavorative = 96 h

- 1 Autobetoniera CIFA RY1100:

Combustibile = Diesel;

Potenza nominale = 500 hp;

Consumo specifico del motore $k = 0,17 \text{ kg/hp h}$;

Ore lavorative = 96 h

La formula per quantificare il consumo di Diesel degli automezzi è la seguente:

$$\text{LMHP} = \frac{k \cdot \text{GHP} \cdot \text{LF}}{\text{KPL}} \quad (8)$$

Dove:

LMHP = Consumo combustibile [l/h];

k = Consumo specifico del motore [kg/hp h];

GHP = Potenza nominale del motore [hp];

LF = Load Factor, fattore di carico da applicare alla potenza nominale per calcolare la potenza effettiva utilizzata;

KPL = Peso del combustibile [kg/l]

Per il calcolo di LF si utilizza la seguente tabella:

Tabella 15. Valori % della potenza utilizzata in funzione del fattore di carico

Wheel loader application	Percent rated power fuel consumption
Low machine load factor	20 to 50
Medium machine load factor	50 to 70
High machine load factor	70 to 90

33

Applicando la (8) si ottiene:

³³ Fonte: ISO DIS 10987

Tabella 16. Consumo di Diesel relativa ad ogni lavorazione

IMPATTO AMBIENTALE-COMPARTO MATERIE PRIME ED ENERGIA												
LAVORAZIONI	ATTIVITA'/MEZZI/ ATTREZZATURE	IMPATTO	DURATA LAVORI [Giorni]	ORE LAVORATIVE GIORNALIERE [h]	NUMERO MEZZI	ORE DI LAVORO [h]	CONSUMO SPECIFICO MOTORE [kg/hp*h]	POTENZA NOMINALE MOTORE [hp]	LOAD FACTOR	PESO DEL COMBUSTIBILE [kg/l]	CONSUMO COMBUSTIBILE [l/h]	CONSUMO COMBUSTIBILE TOTALE [l]
Recinzioni di cantiere	Autocarro	Utilizzo di carburante	4	2	1	8	0,17	500	0,7	0,84	70,833	566,667
Montaggio delle baracche	Autocarro	Utilizzo di carburante	4	8	1	32	0,17	500	0,7	0,84	70,833	2266,667
	Autogru	Utilizzo di carburante		8	1	32	0,17	175	0,7	0,84	24,792	793,333
Scavi	Autocarro	Utilizzo di carburante	1	4	2	4	0,17	500	0,7	0,84	70,833	566,667
	Escavatore	Utilizzo carburante		8	1	8	0,17	71	0,7	0,84	10,058	80,467
Strutture verticali – Getto del calcestruzzo	Autobetoniera	Utilizzo di carburante	3	8	1	24	0,17	500	0,7	0,84	70,833	1700,000
	Autopompa	Utilizzo di carburante		8	1	24	0,17	500	0,7	0,84	70,833	1700,000
Fondazioni – Getto del calcestruzzo	Autobetoniera	Utilizzo di carburante	9	8	1	72	0,17	500	0,7	0,84	70,833	5100,000
	Autopompa	Utilizzo di carburante		8	1	72	0,17	500	0,7	0,84	70,833	5100,000
Prefabbricati – Posa di strutture verticali in acciaio - Castelletto	Autogru	Utilizzo di carburante	8	8	1	64	0,17	175	0,7	0,84	24,792	1586,667
											TOTALE	19460,467

Si stima un **consumo totale di combustibile Diesel pari a 555,5 l/h**, moltiplicando il risultato ottenuto per le ore di utilizzo dei mezzi si ha un **consumo totale di 19460,5 l**.

4.4.1.3 Rumore e vibrazioni

Il rumore, in quanto suono, è una perturbazione che si propaga nell'aria sotto forma di onde di compressione e rarefazione, capace di generare una sensazione uditiva.

Il rumore è un fenomeno vibratorio ed i parametri che lo caratterizzano sono:

- Ampiezza (dB);
- Frequenza (Hz);
- Durata (secondi)

In base alla classificazione del suono relativa all'ampiezza, la soglia di udibilità minima dell'orecchio umano è compresa tra 5 e 10 dB, invece considerando la classificazione del suono a seconda della frequenza, il suono udibile è compreso tra i 20 Hz e i 20 kHz.

In base alla loro durata, i rumori possono essere classificati come segue:

- *Stabili o stazionari*: le variazioni di intensità non superano i 3 dB;
- *Fluttuanti*: le variazioni di intensità superano i 3 dB;
- *Intermittenti*: le variazioni di intensità non sono continue ma si ripetono nel tempo (superiore a un secondo);
- *Impulsivi*: i rumori sono caratterizzati da forte intensità e durata inferiore ad un secondo.

La normativa in materia di inquinamento acustico è la seguente:

- **DPCM 1 Marzo 1991**, il quale afferma che limiti ammissibili in ambiente esterno vengono stabiliti sulla base del piano di zonizzazione acustica redatto dai Comuni;
- **Legge Quadro sul Rumore No. 447/95**, tale legge contiene i principi da concretizzare con strumenti attuativi;
- **DPCM 14 Novembre 1997**, contiene le indicazioni normative in materia di inquinamento acustico facendo fede alle indicazioni fornite dall'Unione Europea.

Nell'ambito dei cantieri edili vi sono alcuni rischi dovuti all'uso di macchine e attrezzature, particolarmente rumorose, che espongono gli addetti ai lavori a rumori e vibrazioni.

Ai sensi dell'**art. 190 del D.Lgs. 81/08³⁴**, si deve eseguire la valutazione del rumore durante le effettive attività lavorative, prendendo in considerazione in particolare:

- Il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo;
- I valori limite di esposizione ed i valori di azione di cui all'art. 189 del D.Lgs. 81/08;
- Tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rumore;
- Gli effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori derivanti dalle interazioni tra rumore e sostanze ototossiche connesse all'attività svolta e fra rumore e vibrazioni, seguendo attentamente l'orientamento della letteratura scientifica e sanitaria ed i suggerimenti del medico competente;
- Le informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori delle attrezzature impiegate, in conformità alle vigenti disposizioni in materia;
- L'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre l'emissione di rumore;
- Il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro normale, in locali di cui è responsabile;
- Le informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica;
- La disponibilità di dispositivi di protezione dell'udito con adeguate caratteristiche di attenuazione;

³⁴ Fonte: DLgs 81/08, art 189-190, Rumore (2016)

- Quando il rumore di una lavorazione o di una attrezzatura non potrà essere eliminato o ridotto, si dovranno porre in essere protezioni collettive quali la delimitazione dell'area interessata e/o la posa in opera di schermature supplementari della fonte di rumore. Se la rumorosità non è diversamente abbattibile dovranno essere adottati i dispositivi di protezione individuali conformi a quanto indicato nel rapporto di valutazione del rumore e prevedere la rotazione degli addetti alle mansioni rumorose.

Per la valutazione dei livelli di emissione sonora dei mezzi e attrezzature principali utilizzati durante il cantiere si utilizzano i fogli di calcolo del Comitato Paritetico Territoriale per la Prevenzione Infortuni, l'Igiene e l'Ambiente di Lavoro di Torino e Provincia.

I dati di input da inserire nei fogli di calcolo, relativi al cantiere di restauro e ristrutturazione degli immobili "Ex Cottolengo", sono ricavati dalle misurazioni effettuate in cantiere tramite fonometro CESVA- SC310 e calibratore CESVA-CB.

Di seguito sono riportati i valori ottenuti dalle misurazioni in cantiere:

Tabella 17. Esito valutazione rumore eseguito in cantiere con fonometro e calibratore

Postazione, lavorazione o macchina utilizzata	Campionamenti [dB(A)]	LAeq [dB(A)]	E(LAeq) [dB]	LPEAK [dB(C)]
Autocarro	65,6	65,6	0,3	97,2
Flex	79,7	79,7	0,3	106,5
Escavatore	104,0	104,0	0,3	97,2
Autobetoniera	90,0	90,0	0,3	97,2
Martello demolitore	96,5	96,5	0,3	121,1
Sega circolare	86,0	86,0	0,3	102,5
Trapano	76,6	76,6	0,3	100,9

Per quanto riguarda l'esposizione si fa riferimento alle ore di utilizzo dei mezzi e delle attrezzature in percentuale; tali dati sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 18. Esposizione relativa ai mezzi/attrezzature

Mezzi/ Attrezzature	Esposizione [%]
Autocarro	5,58%
Autogru	12,18%
Autobetoniera	12,18%
Escavatore	1,02%
Flex	32,49%
Sega elettrica	32,49%
Martello demolitore	10,15%
Trapano	32,49%

Il foglio di calcolo fornisce le seguenti valutazioni:

$L_{EX,w}$ = Livello di esposizione settimanale in dB(A) = **89 dB(A)**;

$L'_{ex,w}$ = il valore di esposizione settimanale effettivo = **82 dB(A)**

I.A. = Indice di attenzione risultante dalla valutazione del rischio in base ai livelli di esposizione alle varie attività (secondo i criteri indicati al paragrafo 2.2.2.1. del modello di DVR) = **5**.

I valori limite previsti dalla norma sono $L_{EX,w} = 87$ dB(A) e $p_{peak} = 140$ dB(C).

L'attenuazione dei rischi per il lavoratore può essere effettuata tramite l'utilizzo di DPI, ovvero otoprotettori con un SNR decurtato della deviazione standard tale da riportare sempre i livelli al di sotto del valore inferiore di azione (80 dB):

Matrix verde NOVITÀ nuova schiuma no-roll
SNR: 27 dB

Cod.: 1011237 In scatole da 200 paia Confezione: 10 pz. per cartone.

Matrix verde	SNR=27	H=29	M=23	L=20				
Frequenza in HZ:	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Attenuazione media dB:	17,3	21,0	24,5	27,3	27,9	33,8	36,1	40,8
Deviazione standard dB:	5,4	5,3	6,7	6,6	4,8	3,7	5,2	6,5
Protezione presunta dB:	11,9	15,7	17,8	20,7	23,1	30,1	30,9	34,3



Bisogna effettuare una ulteriore verifica per valutare la possibile **propagazione del rumore verso l'ambiente esterno**, considerando sia l'ipotesi senza schermatura che con l'utilizzo della schermatura.

In tale verifica, il suono è considerato puntiforme, sferico, omnidirezionale e costituito da due aliquote:

- Suono diretto;
- Suono riflesso dal terreno.

Nel calcolo si trascurano, per semplificazione, gli aspetti ambientali che influiscono sulla propagazione del suono, cioè l'assorbimento dell'aria, la vegetazione, il vento ed il gradiente di temperatura.

Dunque, si ha una sorgente S, puntiforme, che propaga il suono in un campo libero fino al ricevitore R, che si trova a distanza r da S.

Considerando l'assorbimento di energia sonora del terreno, si arriva al seguente schema:

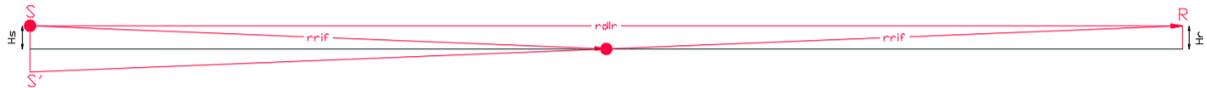


Immagine 6. Schema propagazione del suono

Dove:

S=Sorgente;

S'=Sorgente virtuale;

R= Ricevitore;

Hs= Altezza della sorgente;

Hr=Altezza del ricevitore;

rdir=Raggio diretto;

rrif=Raggio riflesso.

La formula utilizzata per il calcolo del **livello di rumore diretto** L_{dir} è la seguente:

$$L_{dir} = L_w + 10 \log\left(\frac{Q_{dir}}{4\pi r_{dir}^2}\right) \quad (9)$$

La formula utilizzata per il calcolo del **livello di rumore riflesso** L_{rif} è la seguente:

$$L_{rif} = L_w + 10 \log\left(\frac{Q_{rif}(1-\alpha)}{4\pi r_{rif}^2}\right) \quad (10)$$

Il **livello di rumore totale** è pari a :

$$L_{tot} = 10 \log\left[10^{\frac{L_{dir}}{10}} + 10^{\frac{L_{rif}}{10}}\right] \quad (11)^{35}$$

Dove:

L_w = Livelli di potenza sonora dei mezzi o attrezzature [dB];

α = il coefficiente acustico del terreno = 0,2;

³⁵ Fonte: legge di propagazione del rumore che tiene conto della sola attenuazione per effetto della divergenza (Harris, 1979):

$Q = \text{coefficiente di direttività} = 1;$

$r_{dir} = \sqrt{r^2 + (H_s - H_r)^2}$ [m];

$r_{rif} = \sqrt{r^2 + (H_s + H_r)^2}$ [m];

$r = \text{distanza tra S ed R} = 50\text{m}.$

La distanza tra il baricentro del cantiere e le abitazioni limitrofe è pari a 50 m.

Nella tabella seguente vi sono i risultati del livello di rumore relativo all'utilizzo di ogni mezzo d'opera e attrezzatura, applicando la (9),(10),(11) si ottiene:

Tabella 19. Livello di rumore, relativa ad ogni attività, che si propaga verso l'ambiente esterno senza schermature

Mezzo/Attrezzatura	Lw [dB]	Hs [m]	Hr [m]	r [m]	Q	α	rdir [m]	rrif [m]	Ldir [dB]	Lrif [dB]	Ltot [dB]
Autocarro	65,60	1	1	50,0	1	0,2	50,0	54,0	20,63	18,99	22,90
Escavatore	104,00	1	1	50,0	1	0,2	50,0	54,0	59,03	57,39	61,30
Autobetoniera	90,00	1	1	50,0	1	0,2	50,0	54,0	45,03	43,39	47,30
Flex	79,70	1	1	50,0	1	0,2	50,0	54,0	34,73	33,09	37,00
Martello demolitore	96,50	1	1	50,0	1	0,2	50,0	54,0	51,53	49,89	53,80
Sega circolare	86,00	1	1	50,0	1	0,2	50,0	54,0	41,03	39,39	43,30
Trapano	76,60	1	1	50,0	1	0,2	50,0	54,0	31,63	29,99	33,90

Si esegue il calcolo considerando l'utilizzo della **schermatura** per ridurre la propagazione del suono, conseguentemente si ha un **livello diffratto**:

$$L_{dif} = L_{dir} - \Delta L_{bar} \quad (12)$$

Per il calcolo di ΔL_{bar} si considera la Formula di Maekawa:

$$\Delta L_{bar} = 10 \log (3 + 20 N) \quad (13)$$

Dove N è il numero di Fresnel, ovvero:

$$N = 2f \delta / c \quad (14)$$

Dove:

f = Frequenza del suono [Hz];

δ = Differenza di cammino del suono [m];

c = Velocità del suono [m/s].

Considerando il seguente schema:

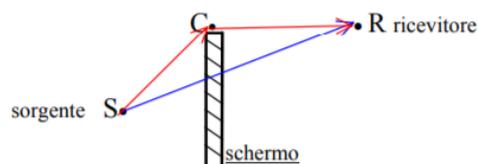


Immagine 7. Schema propagazione del suono con schermatura

Si calcolano le seguenti distanze:

$$\overline{SC} = \sqrt{Hs_{schermo}^2 + (Hs_{schermo} - Hs)^2} \text{ [m];}$$

$$\overline{CR} = \sqrt{(r - r_{sorgente\ schermo})^2 + (H_{ricevitore} - Hs_{schermo})^2} \text{ [m];}$$

$$\overline{SR} = \sqrt{r^2 + (Hs - Hr)^2} \text{ [m].}$$

Dunque, $\delta = SC + CR - SR$.

Applicando la (12),(13),(14), considerando i seguenti dati:

Tabella 20. Dati per il calcolo del livello di rumore dei mezzi e attrezzature utilizzati in cantiere

Mezzo/Attrezzatura	Lw [dB]	Hs [m]	Hr [m]	Hschermo [m]	r [m]	r _{rif} [m]	r _{sorgente-schermo} [m]	Q	α
Autocarro	65,60	1,00	10,00	3,00	50,00	51,20	3,00	1,00	0,20
Escavatore	104,00	1,00	10,00	3,00	50,00	51,20	3,00	1,00	0,20
Autobetoniera	90,00	1,00	10,00	3,00	50,00	51,20	3,00	1,00	0,20
Flex	79,70	1,00	10,00	3,00	50,00	51,20	3,00	1,00	0,20
Martello demolitore	96,50	1,00	10,00	3,00	50,00	51,20	3,00	1,00	0,20
Sega circolare	86,00	1,00	10,00	3,00	50,00	51,20	3,00	1,00	0,20
Trapano	76,60	1,00	10,00	3,00	50,00	51,20	3,00	1,00	0,20

Tabella 21. Livello di rumore, relativa ad ogni attività, che si propaga verso l'ambiente esterno con schermature

Mezzo/Attrezzatura	SR [m]	SC [m]	SCrif [m]	CR [m]	δ [m]	δ_{rif} [m]	f [Hz]	c [m/s]	N	N _{rif}	ΔL_{dir} [dB]	ΔL_{rif} [dB]	L _{dir} [dB]	L _{rif} [dB]	L _{tot} [dB]
Autocarro	50,80	3,61	5,00	47,52	0,32	1,32	500,00	344,00	0,93	3,85	13,35	19,03	7,28	-0,03	8,02
Escavatore	50,80	3,61	5,00	47,52	0,32	1,32	500,00	344,00	0,93	3,85	13,35	19,03	45,68	38,37	46,42
Autobetoniera	50,80	3,61	5,00	47,52	0,32	1,32	500,00	344,00	0,93	3,85	13,35	19,03	31,68	24,37	32,42
Flex	50,80	3,61	5,00	47,52	0,32	1,32	500,00	344,00	0,93	3,85	13,35	19,03	21,38	14,07	22,12
Martello demolitore	50,80	3,61	5,00	47,52	0,32	1,32	500,00	344,00	0,93	3,85	13,35	19,03	38,18	30,87	38,92
Sega circolare	50,80	3,61	5,00	47,52	0,32	1,32	500,00	344,00	0,93	3,85	13,35	19,03	27,68	20,37	28,42
Trapano	50,80	3,61	5,00	47,52	0,32	1,32	500,00	344,00	0,93	3,85	13,35	19,03	18,28	10,97	19,02

Utilizzando una schermatura si ha un abbattimento del rumore pari a circa 60%.

4.4.1.3.1 Limiti normativi

Secondo il Piano di classificazione acustica del Comune di Orbassano³⁶, l'area di intervento ricade all'interno della classe II.



Figura 3. Stralcio Zonizzazione Acustica-Comune di Orbassano

Per la zona II si fa riferimento ai **valori limite assoluti di immissione**³⁷ riportati nella seguente tabella:

Tabella 22. Valori limite assoluti di immissione [Leq in dB(A)]

Classi acustiche	Tempi di riferimento	
	Diurno (06:00 – 22:00)	Notturmo (22:00 – 06:00)
I	50	40
II	55	45
III	60	50
IV	65	55
V	70	60
VI	70	70

Si fa riferimento ai limiti normativi diurni pari a 55 dB(A) in quanto il cantiere è attivo solo durante le ore diurne.

Si può notare che l'unica lavorazione che **non rispetta** tale limite è lo **scavo**, mediante l'utilizzo di un escavatore.

Bisogna considerare che il calcolo del livello di rumore non considera la possibile contemporaneità delle lavorazioni e trascura alcuni aspetti ambientali che potrebbero

³⁶Piano zonizzazione acustica del territorio comunale ai sensi della Legge N. 447/95, Legge Regionale 52/2000 e D.G.R. 85-3802 e disposizioni per il rilascio delle autorizzazioni in deroga. (2020)

³⁷ valori massimi che possono essere immessi da una o più sorgenti sonore nell'ambiente esterno o abitativo, misurati in prossimità dei ricettori.

amplificare l'emissione del rumore, dunque anche le attività che rispettano i limiti normativi, nella realtà, potrebbero superare tali limiti e provocare un inquinamento acustico.

4.4.1.4 Vegetazione e fauna

Il Piano Regolatore Generale di Orbassano individua l'area di cantiere all'interno del confine del centro storico di Orbassano.

In particolare l'area è individuata dal Codice Ambito 8.23.1.1, ovvero Area per verde attrezzato e sport per la residenza e il terziario.

L'edificio oggetto di ristrutturazione ricade nel Codice Ambito C_C1, ovvero aree con edificazione consolidata di vecchio impianto, a prevalente uso residenziale.

La chiesa, oggetto di restauro, ricade nel Codice Ambito as_SP2, ovvero aree per attrezzature di interesse collettivo.

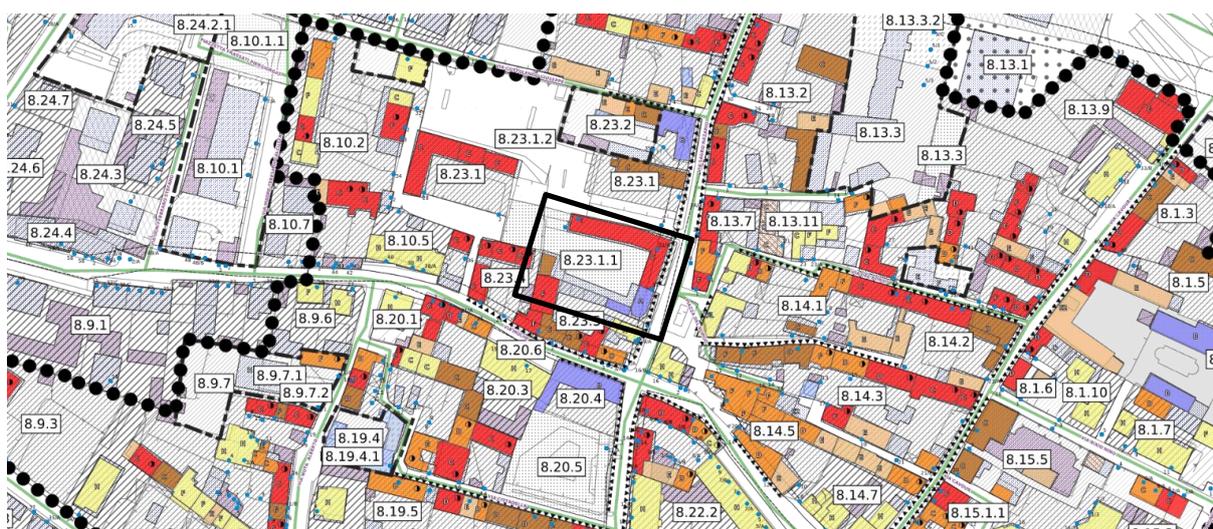


Figura 4. Stralcio PRG, Orbassano, Fonte: maphosting.it/index.php/qgisDocke/PRG_Orbassano_webgis#/map

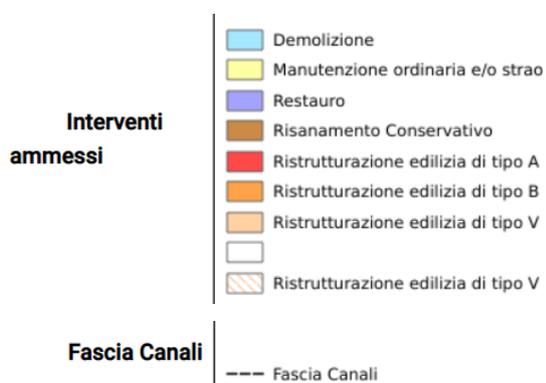


Figura 5. Legenda stralcio PRG

Il Geoportale Arpa Piemonte consente di consultare la Carta della Natura della Regione Piemonte, in modo tale da individuare gli habitat naturali di Orbassano.

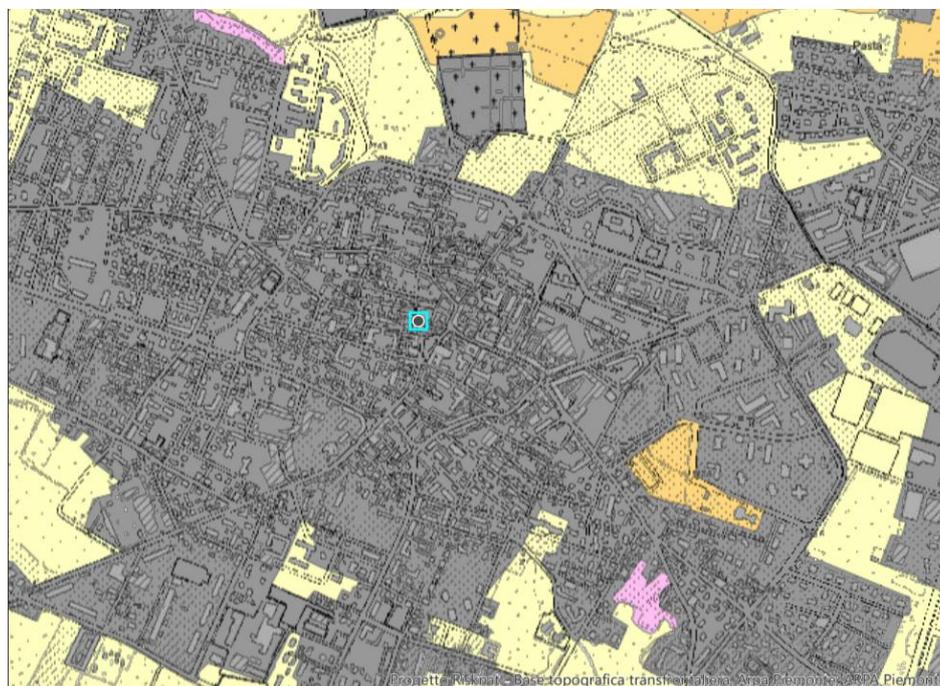


Figura 6. Stralcio Carta della Natura, Orbassano

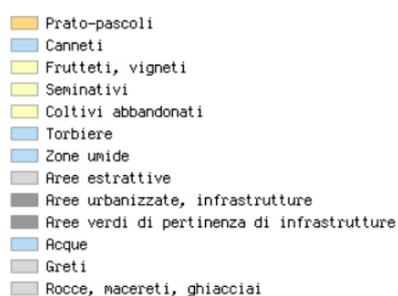


Figura 7. Legenda Carta della natura

L'area del cantiere, individuata dal simbolo presente in Figura 7, è in un'area urbanizzata con aree verdi di pertinenza.

L'impatto ambientale del cantiere deve essere studiato e quantificato anche in relazione alla salvaguardia della flora e la fauna, dunque si fa riferimento all'allegato II (art. 5 punto D)³⁸ del DPCM 27/12/1988 :

È necessaria la caratterizzazione dei livelli di qualità della vegetazione e della flora presenti nel sistema ambientale del sito; tale caratterizzazione può essere effettuata studiando lo stato di fatto e la presenza effettiva della vegetazione, tenendo presenti i vincoli derivanti dalla normativa e il rispetto degli equilibri naturali.

Durante il sopralluogo, si è verificata la presenza di 3 alberi all'interno dell'area di cantiere e la presenza di alcuni alberi lungo via Nazaro Sauro.



Figura 8. Vegetazione presente in cantiere

Per quanto riguarda la fauna non è stato possibile reperire i seguenti documenti:

- l'elenco della fauna vertebrata presumibile (mammiferi, uccelli, rettili, anfibi e pesci) sulla base degli areali, degli habitat presenti e della documentazione disponibile;

³⁸ DPCM 27 dicembre 1988 - Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all'art. 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, adottate ai sensi dell'art. 3 del decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 10 agosto 1988, n. 377 G.U. 5 gennaio 1989, n. 4 definisce all'allegato I "vegetazione, flora, fauna: formazioni vegetali ed associazioni animali, emergenze più significative, specie protette ed equilibri naturali"

- elenco della fauna invertebrata significativa potenziale (specie endemiche o comunque di interesse biogeografico) sulla base della documentazione disponibile;

Dunque in base ai dati recepiti, l'impatto ambientale del cantiere non risulta essere rilevante per quanto riguarda la sfera della vegetazione e della fauna, in quanto vengono messe in atto tutte le precauzioni per la salvaguardia della vegetazione presente nell'area di cantiere.

L'unico aspetto negativo riguarda gli alberi presenti su via Nazaro Sauro, i quali sono soggetti a possibile potatura o rimozione in quanto interferiscono con il montaggio del ponteggio esterno.

La rimozione degli alberi è sempre sconsigliata in quanto porta ad uno squilibrio naturale, nel capitolo successivo si prevedono delle misure di mitigazione.

4.4.1.5 Acque superficiali ed acque sotterranee

Negli ultimi decenni la domanda di acqua sta crescendo velocemente a discapito della significativa scarsità della risorsa naturale disponibile.

Arpa Piemonte contribuisce alla divulgazione di informazioni circa la qualità e la tutela delle acque, sottolineando l'importanza delle azioni di politica ambientale finalizzate al raggiungimento degli obiettivi di qualità e tutela delle acque previsti dai provvedimenti europei e nazionali in materia.

Si fa riferimento all'articolo 4 e 5 del Regolamento regionale 20 febbraio 2006, n. 1/R:

“Art. 4. Immissioni delle acque meteoriche di dilavamento provenienti da opere e interventi soggetti alle procedure di VIA³⁹

Le immissioni delle acque meteoriche di dilavamento provenienti da opere e interventi soggetti alle procedure di valutazione di impatto ambientale sono soggette, ove necessario, alle prescrizioni dettate dal provvedimento con cui l'autorità competente rende il giudizio di compatibilità ambientale.

Art. 5. Tutela delle acque sotterranee

È in ogni caso vietato lo scarico o l'immissione diretta delle acque di cui all'articolo 1 in acque sotterranee.”⁴⁰

³⁹ “acque meteoriche di dilavamento”, si fa riferimento ad una peculiare tipologia di acque di origine piovana che, depositandosi su un suolo impermeabilizzato, “dilavano” le superfici, attingendo indirettamente, i corpi ricettori (acque superficiali e suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, ex art. 103, comma 1, lett. e).

⁴⁰ Regolamento regionale 20 febbraio 2006, n. 1/R. "Regolamento regionale recante: Disciplina delle acque meteoriche di dilavamento e delle acque di lavaggio di aree esterne (Legge regionale 29 dicembre 2000, n. 61)".

Orbassano fa parte del distretto idrografico del fiume Po⁴¹, di seguito sono riportate le rappresentazioni cartografiche dei risultati dei programmi di monitoraggio effettuati nel periodo di riferimento 2009-2014.

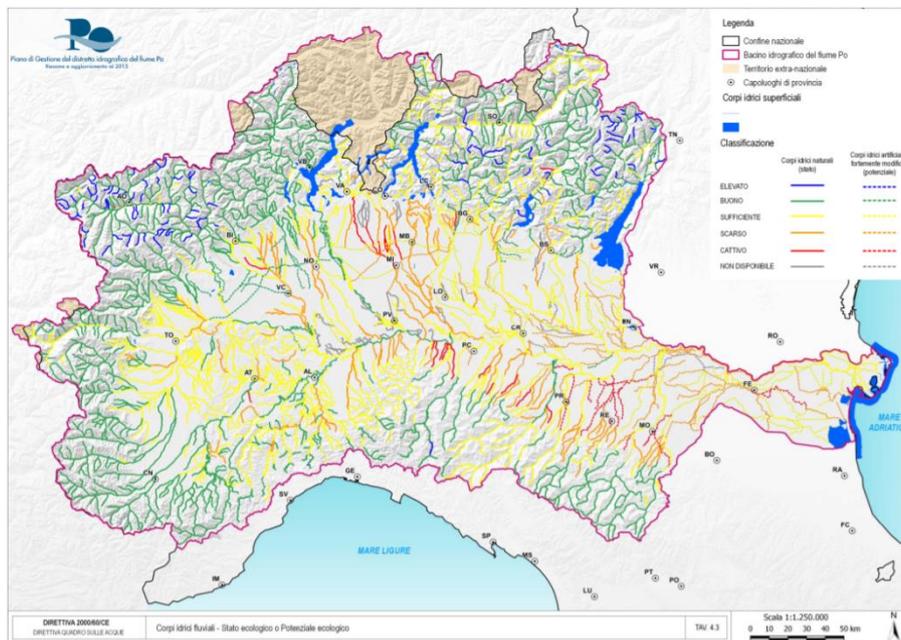


Figura 9. Stato ecologico dei corpi idrici fluviali, Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po

Lo stato ecologico dei corpi idrici fluviali della provincia di Torino è sufficiente.

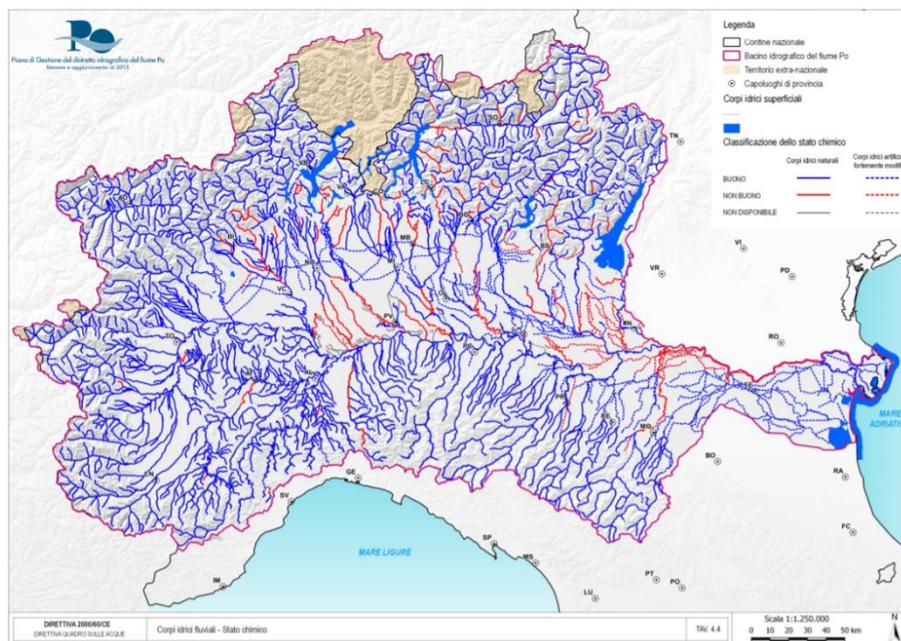


Figura 10. Stato chimico dei corpi idrici fluviali, Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po

Lo stato chimico dei corpi idrici fluviali della provincia di Torino è buono.

⁴¹ Art.8 dell'Allegato V della Direttiva 2000/60/CE

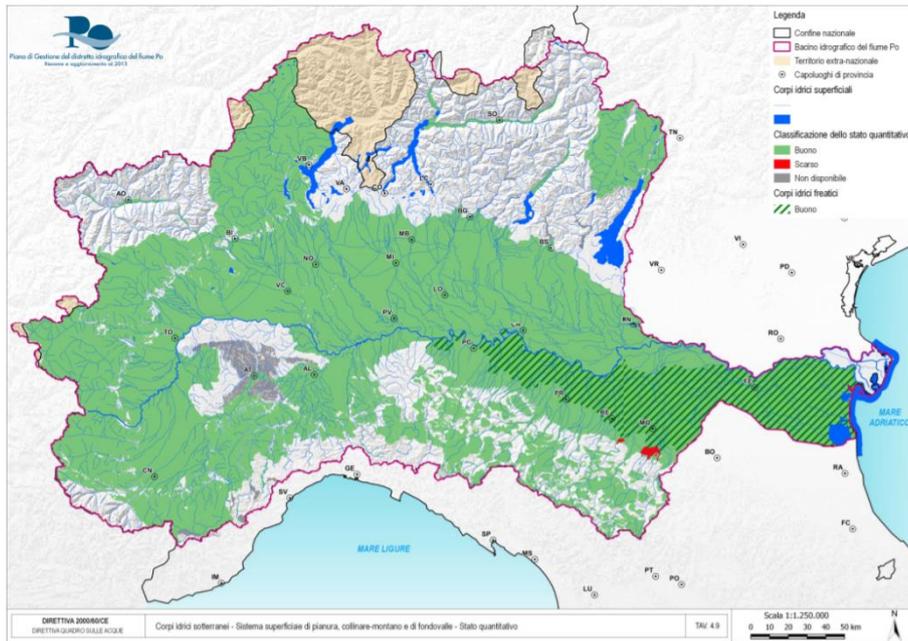


Figura 11. Stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei - sistema superficiale di pianura, collinare-montano e di fondovalle, Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po

Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei della provincia di Torino è buono.

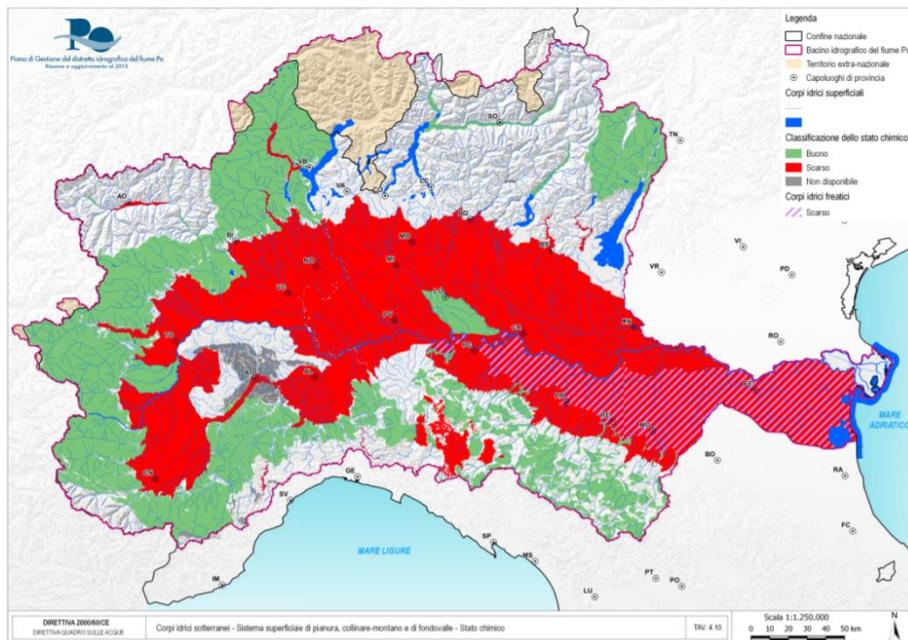


Figura 12. Stato chimico dei corpi idrici sotterranei - sistema superficiale di pianura, collinare-montano e di fondovalle, Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po

Lo stato chimico dei corpi idrici sotterranei della provincia di Torino è scarso.

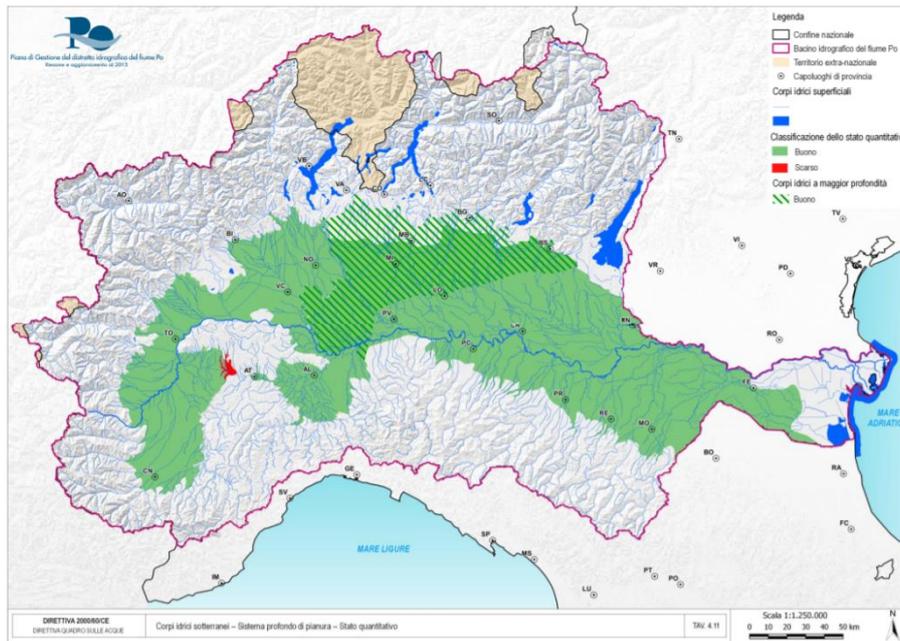


Figura 13. Stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei - sistema profondo di pianura, Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po

Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei nel sistema profondo di pianura della provincia di Torino è buono.

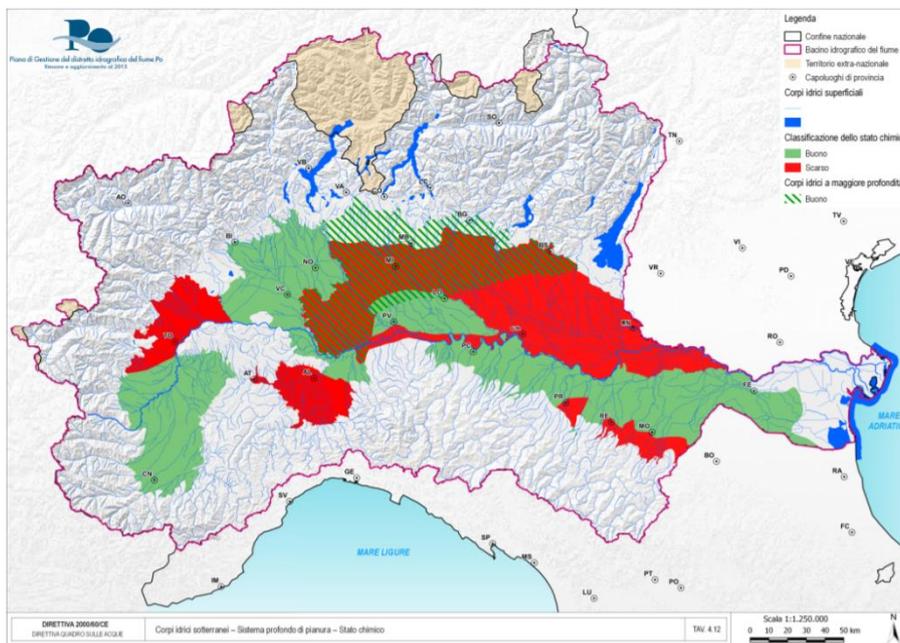


Figura 14. Stato chimico dei corpi idrici sotterranei - sistema profondo di pianura, Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po

Lo stato chimico dei corpi idrici sotterranei nel sistema profondo di pianura della provincia di Torino è scarso.

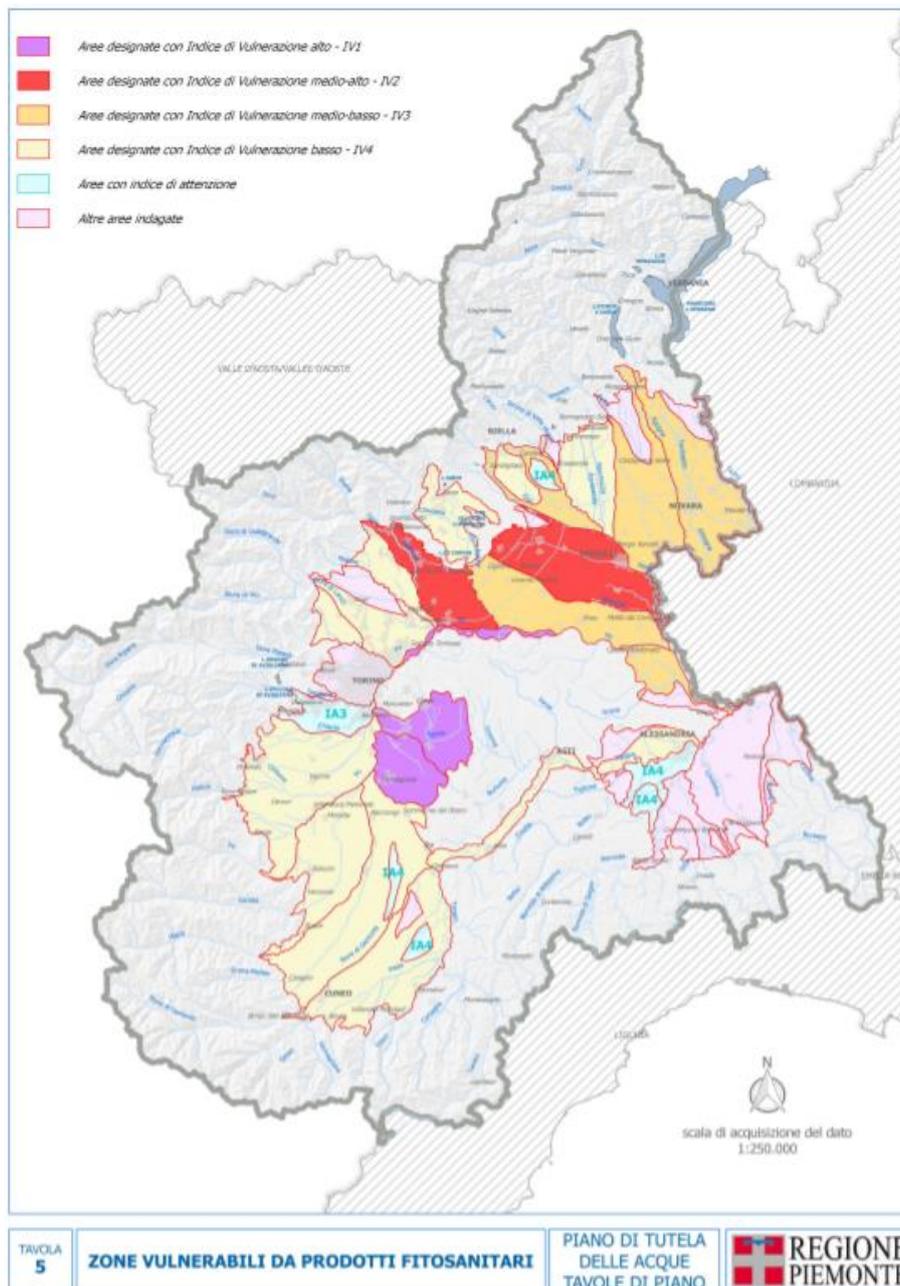


Figura 16. Zone vulnerabili da prodotti fitosanitari, Piano di tutela delle acque

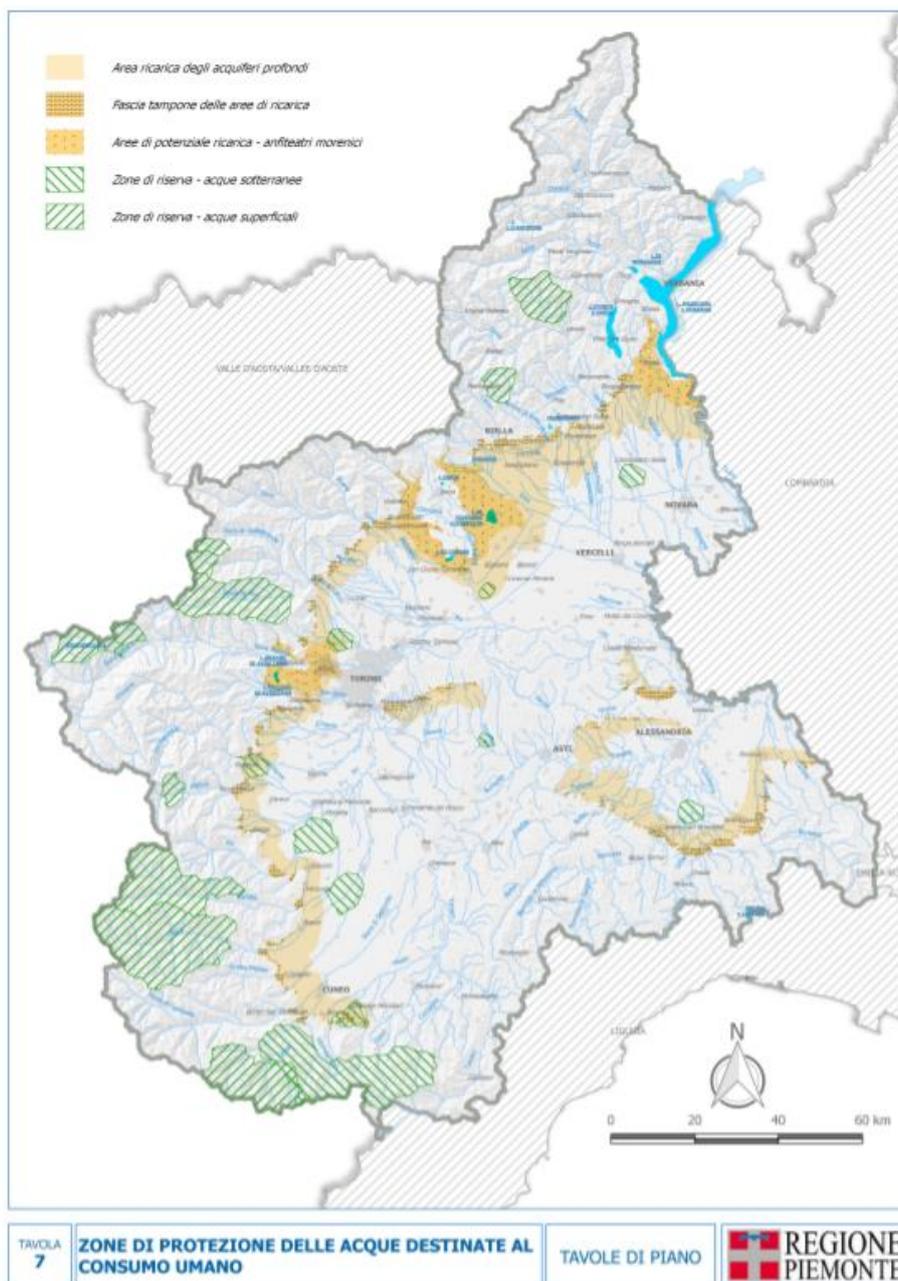


Figura 17. Zone di protezione delle acque destinate al consumo umano, Piano di tutela delle acque

Il Piano di tutela delle acque individua misure atte a conseguire per i corpi idrici i seguenti obiettivi:

“a) per i corpi idrici superficiali naturali sia mantenuto o raggiunto l’obiettivo di qualità corrispondente allo stato “buono” ecologico e chimico e sia altresì mantenuto, ove già esistente, lo stato ecologico “elevato”;

- b) per i corpi idrici superficiali artificiali e fortemente modificati sia mantenuto o raggiunto l'obiettivo di qualità corrispondente al potenziale ecologico "buono" e allo stato chimico "buono" e sia altresì mantenuto, ove già esistente, il potenziale ecologico "massimo";
- c) per i corpi idrici sotterranei sia mantenuto o raggiunto l'obiettivo di qualità corrispondente allo stato "buono" chimico e quantitativo.”⁴³

Poiché Orbassano ha un punto di ricarica degli acquiferi profondi, si fa riferimento all'art.19 del Pino di tutela delle acque:

“Art. 19. (Zone di protezione delle acque destinate al consumo umano)

1. Le zone di protezione delle acque destinate al consumo umano sono finalizzate alla tutela quantitativa e qualitativa del patrimonio idrico regionale e sono da assoggettare ai vincoli ed alle destinazioni d'uso specifiche connesse a tale funzione.
2. Sono considerate zone di protezione:
 - a) le aree di ricarica degli acquiferi profondi;
 - b) le zone di riserva caratterizzate dalla presenza di risorse idriche superficiali e sotterranee non ancora destinate al consumo umano, ma potenzialmente destinabili a tale uso.
5. Nei confronti delle domande di concessione delle acque vincolate non è ammessa la presentazione di domande concorrenti per destinazioni o usi diversi da quello per il consumo umano. Le acque vincolate possono essere concesse ad altri richiedenti, per usi diversi da quello per il consumo umano, con durata limitata ino alla attivazione, totale o parziale, della utilizzazione in vista della quale il vincolo è stato disposto e il rinnovo delle utenze può essere negato se risulta incompatibile con l'utilizzazione delle acque vincolate.
6. Nelle aree di ricarica degli acquiferi profondi di cui al comma 3, lettera a) non è ammessa la realizzazione di discariche per rifiuti pericolosi, ad esclusione di quelle per rifiuti contenenti amianto così come definiti dalla specifica normativa di settore.
7. Nelle aree di ricarica degli acquiferi profondi di cui al comma 3, lettera a) lo svolgimento delle attività che detengono o impiegano sostanze pericolose di tipo “E1 pericoloso per l'ambiente acquatico, categoria di tossicità acuta 1 o di tossicità cronica 1” ed “E2 pericoloso per l'ambiente acquatico, categoria di tossicità cronica 2” è ammesso nel rispetto dei criteri e delle condizioni stabilite nella parte I, paragrafo 4 (Attività considerate significative perché detengono o impiegano sostanze a ricaduta ambientale) del documento approvato con la deliberazione della Giunta regionale 2 febbraio 2018, n. 12-6441 e successive modificazioni.

⁴³ Piano di tutela delle acque art. 13. (Obiettivi di qualità ambientale), Regione Piemonte

8. Nell'area della Valledora, così come definita nella parte II (Misure specifiche per l'area di Valledora) del documento approvato con la deliberazione della Giunta regionale 2 febbraio 2018, n. 12-6441 e successive modificazioni, è vietato l'insediamento di attività di discarica di rifiuti o l'ampliamento di quelle esistenti.

9. Le disposizioni di attuazione del presente piano procedono all'individuazione dei vincoli e delle misure relative alla destinazione del territorio delle zone di protezione di cui al comma 4, nonché delle limitazioni e prescrizioni per gli insediamenti civili, produttivi, turistici, agroforestali e zootecnici da inserirsi negli strumenti urbanistici comunali, provinciali, regionali, sia generali sia di settore.”

Dunque, durante le attività di cantiere, le maestranze potranno utilizzare l'acqua potabile dell'edificio fornita dall'impianto idrico e le acque reflue verranno allontanate dal cantiere mediante idonea tubazione di scarico.

4.4.1.6 Suolo e sottosuolo

Tra le principali cause dell'inquinamento del suolo e sottosuolo vi sono il deterioramento del suolo tramite spostamenti temporanei o permanenti del terreno, che influiscono sul peggioramento delle qualità fisiche del materiale, il deterioramento delle qualità fisiche della superficie del suolo per il passaggio di automezzi o lo stoccaggio di materiali nella fase di cantiere e lo sversamento accidentale di prodotti inquinanti nel sottosuolo.

Il cantiere di ristrutturazione e restauro del complesso “Ex Cottolengo” non comporta l'ampliamento dell'edificio e dunque la diminuzione del suolo ed inoltre le aree esterne sono pavimentate diminuendo il rischio di inquinamento del suolo.

Tra le attività di cantiere è previsto lo scavo di 43,31 m³ di terreno, di cui è previsto il reinterro di soli 7,47 m³.

4.4.1.7 Rifiuti

I rifiuti inerti di costruzione e demolizione⁴⁴ destinati allo smaltimento in discarica come rifiuti speciali assimilabili ai rifiuti solidi urbani sono i seguenti:

1. Legname (travi, pallets, sfridi di casseri, etc.) CER 17.02.01 2;
2. Ferro (spezzoni di putrelle, ferro d'armatura, chiodi e minuterie, etc.) CER 17.04.05 3;

⁴⁴ La stima dei rifiuti è stata effettuata sulla base del POS, ma non è esaustiva.

3. Plastica (scarichi, fogli di polietilene, etc.) CER 17.02.03 4.;
4. Rifiuti organici (scarti dei pasti consumati in cantiere) CER 20.03.01 5;
5. Isolanti (polistiroli, poliestere, lana di roccia etc.) CER 17.06.04

4.5 Stima impatto ambientale complessivo

4.6 Misure di mitigazione dell'impatto ambientale del cantiere

Nel presente paragrafo si analizzano le diverse attività del cantiere di ristrutturazione e restauro del complesso "Ex Cottolengo" con i rispettivi impatti ambientali e si propongono delle misure di mitigazione dell'impatto ambientale, in modo tale da implementare la sostenibilità del cantiere.

4.6.1 Inquinamento atmosferico

L'inquinamento atmosferico, legato alle attività di cantiere, è causato principalmente dalla **diffusione di polveri in fase di cantierizzazione, di costruzione e demolizione dell'opera**, dalla **diffusione di polveri per il transito dei mezzi di cantiere e per le attività di costruzione** e dalle **emissioni dei fumi di combustione di mezzi ed attrezzature** utilizzate durante le attività di costruzione.

4.6.1.1 Diffusione di polveri in fase di cantierizzazione, costruzione e demolizione dell'opera e per il passaggio di automezzi

In conformità all'art. 2.5.3 "Prestazioni ambientali" dei CAM, si devono attuare "le misure per l'abbattimento delle polveri e fumi anche attraverso periodici interventi di irrorazione delle aree di lavorazione con l'acqua o altre tecniche di contenimento del fenomeno del sollevamento della polvere."

Dunque per l'abbattimento delle polveri e fumi si utilizzano i seguenti sistemi di mitigazione:

- Un **impianto di lavaggio pneumatici**, così da lavare tutti gli autoveicoli prima del loro transito sulle strade pubbliche. Tale impianto è posto all'uscita carrabile del cantiere, in un'area con la giusta pendenza per far confluire le acque nell'impianto di depurazione del cantiere (Quest'ultimo è analizzato al par. 4.6.5.)

Si è scelto di utilizzare un impianto lavaruote automatico a ciclo chiuso, serie RC di TECNOTER GROUP, modulare e robusto, trasportabile su furgone aperto, preinstallato, in grado di riutilizzare il 95% delle acque di lavaggio grazie alla vasca di decantazione, costituito anche dal sistema di disidratazione fanghi, dal sistema specifico per riduzione degli inquinanti fini, dal sistema ad arco per sanificazione e controllo batteriologico e dal filtro autopulente extra fine.

ELEMENTI CARATTERIZZANTI

Posizionamento:	sia interrato che fuori terra
Mezzi trattabili:	autoveicoli, camion, macchine industriali gommate
Transito mezzi in lavaggio:	bassa velocità, senza sosta
Peso max veicoli:	20 ton per asse
Altezza minima veicoli:	10 cm
Tempo medio di lavaggio:	20 sec.
Vasca primaria:	integrata
Vasca di accumulo e chiarific.:	disponibile come optional
Estrattore fanghi:	incorporato nella vasca primaria
Sistema di miscelazione additivi:	disponibile come optional

CARATTERISTICHE TECNICHE DI BASE

Struttura linea di lavaggio:	carpenteria pesante in acciaio al carbonio, zincata a caldo ove necessario
Larghezza interna fra le paratie:	3,5 mt
Lunghezza interna:	2,0 o 4mt
Altezza linea da terra:	circa 50 cm
Altezza pannellature laterali:	1,3 m dalla linea di lavaggio; estendibile sino a 5 mt
Numero di ugelli:	variabile
Numero pompe di lavaggio:	1
Flusso di lavaggio:	1.500 l/min
Potenza totale impiegata:	5 Kw
Volume vasca integrata:	4 m ³
Sgrossatore meccanico:	integrato con pre filtro
Attivazione:	automatica tramite sensori insensibili al vento



Immagine 8. Lavaruote serie RC, Tecnoter Group

- Periodici interventi di irrorazione delle aree di lavorazione con acqua finemente nebulizzata, possibilmente privilegiando il riciclo d'acqua tramite l'utilizzo di acque meteoriche precedentemente accumulate; tale intervento di irrorazione deve essere attuato solo se strettamente necessario, ovvero durante gli scavi, la demolizione e l'operazione di saldatura.

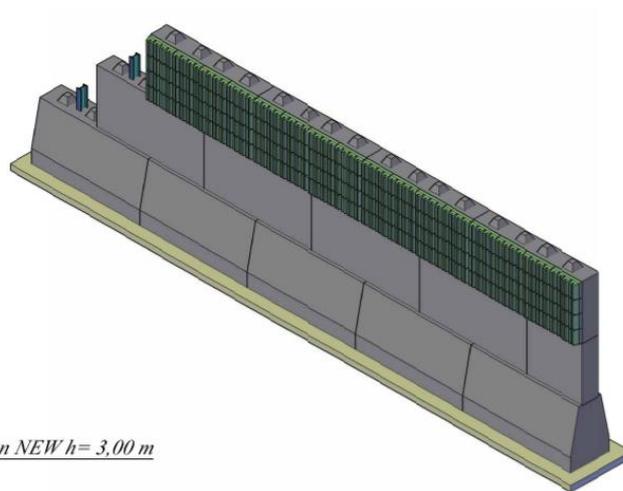
Si è scelto di utilizzare un **sistema di nebulizzazione** di Eurocooling srl, le cui goccioline d'acqua sono in grado di attrarre e abbattere polveri respirabili da 0,1 a 1000 micron. La struttura modulare dell'impianto favorisce una facile installazione senza una progettazione preliminare, necessita di una limitata manutenzione nel tempo, per il funzionamento necessita di un quantitativo ridotto di acqua e utilizza prevalentemente acqua piovana.



Figura 18. Sistemi abbattimento polvere per cantieri e demolizioni, Eurocooling

- Le fasi del carico/scarico delle autobetoniere dovranno essere svolte tramite **dispositivi chiusi**;
- Delimitare l'area di cantiere con pannelli o schermi mobili e barriere antipolvere nei punti di accesso al cantiere.

Si decide di utilizzare un'unica soluzione sia per l'abbattimento della polvere che del rumore, ovvero il **pannello BrickFon®** di Bestefa, un prodotto autoportante grazie agli incastri a secco (non necessita delle fondazioni), facile da spostare in base all'avanzamento dei lavori, prodotto con materiali riciclati in conformità alla normativa UNI EN ISO 14021:2016. Il pannello è costituito da blocchi in cemento con finitura fonoassorbente ed è personalizzabile sul retro, mediante l'applicazione di materiali quali legno o pietra, in modo tale da fondersi con il contesto urbano che circonda il cantiere.



BrickFon NEW h= 3,00 m

Figura 19. Pannello fonoassorbente antipolvere, BrickFon

- Il deposito di terreno e i depositi di macerie, soggetti a scarsa movimentazione, devono essere protetti dall'esposizione al vento mediante copertura con stuoie/teli.

4.6.1.2 Emissioni dei fumi di combustione di mezzi d'opera ed attrezzature utilizzate durante le attività di costruzione

Secondo l'art. 2.5.3 "Prestazioni ambientali" dei CAM , per le attività di cantiere devono essere utilizzati mezzi d'opera della categoria EEV (veicolo ecologico migliorato)⁴⁵.

La **gamma IVECO dei mezzi d'opera** offre motori Euro 5/6, i sistemi Start & Stop, GSI (Gear Shift Indicator), soluzioni che permettono di migliorare consumi ed emissioni di CO2 fino al 10%.

4.6.2 Utilizzo di materie prime ed energia

Secondo l'art. 2.5.3 "Prestazioni ambientali" dei CAM bisogna adottare delle misure per aumentare l'**efficienza nell'uso dell'energia elettrica** nel cantiere e per minimizzare le emissioni di gas climalteranti.

Inoltre si fa riferimento anche alle misure atte a garantire il **risparmio idrico** e la gestione delle acque reflue nel cantiere, l'uso delle acque piovane e quelle di lavorazione degli inerti, prevedendo opportune reti di drenaggio e scarico delle acque.

⁴⁵ Decreto 29 gennaio 2007-Recepimento della direttiva 2005/55/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 28 settembre 2005

Dunque si attuano le seguenti misure, senza inficiare sulla qualità dell'opera:

- Utilizzare **tecnologie a basso impatto ambientale** (lampade a scarica di gas a basso consumo energetico o a led, generatori di corrente eco-diesel con silenziatore, pannelli solari per l'acqua calda, etc.).
- Reimpiegare, dopo opportuno trattamento, le acque di lavaggio dei mezzi d'opera e per la bagnatura dell'area di cantiere;
- Utilizzare un **impianto di recupero dell'acqua piovana** per le lavorazioni del cantiere, con l'obiettivo di utilizzare tale impianto anche durante la vita utile dell'edificio.

In particolare, l'acqua piovana recuperata è utile in cantiere per il lavaggio degli automezzi, per la bagnatura del materiale da demolire o depositato in cantiere; inoltre durante l'utilizzo dell'edificio può essere utilizzata per l'irrigazione delle aree verdi, per il sistema antincendio, per alimentare le vaschette del WC o per alimentare gli impianti di raffreddamento/riscaldamento.

In conformità al “Regolamento edilizio del Comune di Orbassano: Allegato energetico-ambientale e prime indicazioni per il piano clima”, in particolare al paragrafo 4.5.3. “Riutilizzo dell'acqua piovana”, il serbatoio per la raccolta delle acque meteoriche da utilizzare per usi non alimentari deve avere le seguenti caratteristiche:

1. Volume minimo: 1 m³ ogni 30 m² di superficie a tetto, considerando la proiezione orizzontale dello stesso;
2. Sistema di filtratura per l'acqua in entrata;
3. Sistema di reintegro automatico con acqua potabile;
4. Sfiatore sifonato collegato alla fognatura bianca comunale, per smaltire l'eventuale acqua in eccesso.

Dunque si utilizza un impianto di recupero acqua piovana **Gazebo CP11**, con capacità di 24 m³ e dimensioni 2,50x4,50x2,50 m, costituito da una vasca di accumulo con sistemi di filtraggio e un gruppo di pompaggio per il riutilizzo delle acque.



Immagine 9. Vasca di accumulo acque piovane, Gazebo

4.6.3 Rumore e vibrazioni

Secondo l'art. 2.5.3 "Prestazioni ambientali" dei CAM, bisogna adottare misure per l'abbattimento del rumore e delle vibrazioni, dovute alle operazioni di scavo, di carico/scarico dei materiali, di taglio dei materiali, di impasto del cemento e di disarmo.

Le misure da attuare sono le seguenti:

- Installazione di schermature/coperture antirumore (fisse o mobili) nelle aree più critiche e nelle aree di lavorazione più rumorose. Si decide di utilizzare un'unica soluzione sia per l'abbattimento della polvere che del rumore, ovvero il **pannello BrickFon®** di Bestefa, un prodotto autoportante grazie agli incastri a secco (non necessita delle fondazioni), facile da spostare in base all'avanzamento dei lavori, prodotto con materiali riciclati in conformità alla normativa UNI EN ISO 14021:2016. Il pannello è costituito da blocchi in cemento con finitura fonoassorbente ed è personalizzabile sul retro, mediante l'applicazione di materiali quali legno o pietra, in modo tale da fondersi con il contesto urbano che circonda il cantiere.

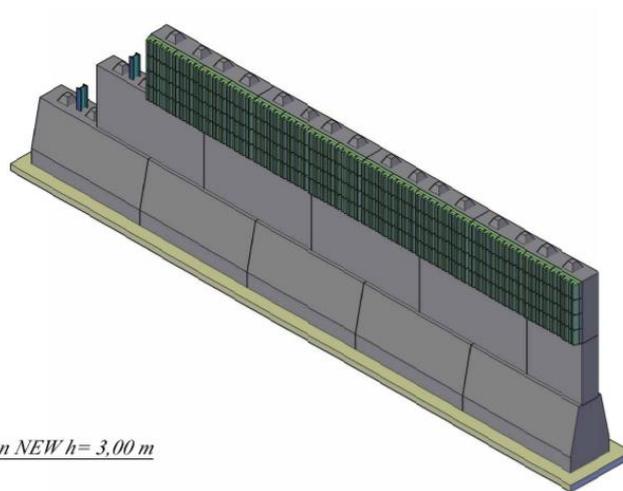


Figura 20. Pannello fonoassorbente antipolvere, BrickFon

- Concentrare le fasi lavorative al periodo diurno ed evitando i giorni festivi, salvo specifici accordi con gli Enti territorialmente competenti legati a contingenti esigenze costruttive;
- Evitare di utilizzare contemporaneamente mezzi e attrezzature rumorose;
- Le macchine operatrici saranno dotate di opportuni dispositivi anti rumore (silenziatori per gli scarichi dei mezzi, uso di mezzi gommati e non cingolati, ecc.);
- Nei casi in cui dovranno essere condotte particolari lavorazioni e non sia possibile installare opportune schermature verranno contattati gli Enti territorialmente interessati al fine di informare la popolazione potenzialmente disturbata.

4.6.4 Vegetazione e fauna

Secondo l'art. 2.5.3 "Prestazioni ambientali" dei CAM , è necessaria la protezione delle specie arboree e arbustive autoctone, le misure da adottare sono:

- Gli alberi nel cantiere devono essere protetti con materiali idonei, per escludere danni alle radici, al tronco e alla chioma. In particolare intorno al tronco verrà legato del tavolame di protezione dello spessore minimo di 2 cm.
- Non è ammesso usare gli alberi per l'infissione di chiodi, appoggi e per l'installazione di corpi illuminanti, cavi elettrici, etc;

- I depositi di materiali di cantiere non devono essere effettuati in prossimità delle preesistenze arboree e arbustive autoctone (deve essere garantita almeno una fascia di rispetto di 10 metri).

4.6.5 Acque superficiali ed acque sotterranee

Nel corso delle attività di cantiere vi è un'alta probabilità di originare acque reflue, dovute a scarichi di carattere industriale o naturale (acque meteoriche potenzialmente inquinate), che devono essere smaltite correttamente al fine di non inquinare le acque superficiali o sotterranee.

In conformità alla Tab. 3 dell' All. 5 del D.lgs. 152/99 "Limiti di emissione degli scarichi idrici", le acque reflue dei cantieri e delle aree di lavorazione devono essere assoggettate a processi di chiarificazione e depurazione per poi essere restituite al corpo recettore e/o alla fognatura.

Le acque reflue si suddividono in:

- *Acque reflue derivanti in prevalenza dal metabolismo umano* sono convogliate direttamente nella fognatura esistente;
- *Acque reflue industriali* prodotte nei cantieri sono le acque utilizzate nei cicli di lavorazione, acque di lavaggio mezzi, etc., che possono essere contaminate da agenti di tipo fisico, quali sostanze inerti finissime, o chimico, come cementi, idrocarburi e olii provenienti dai macchinari, disarmanti, schiumogeni, etc.

Tali acque possono essere gestite mediante l'utilizzo di un idoneo impianto di trattamento di tipo fisico/chimico in modo tale da essere riciclate in produzione;

- *Acque meteoriche* sono le acque derivanti da precipitazioni atmosferiche e si dividono in acque meteoriche dilavanti contaminate, ovvero le acque che provengono dal dilavamento di superfici impermeabili/permeabili che contengono sostanze pericolose (incluse le acque di prima pioggia), e le acque meteoriche dilavanti non contaminate, cioè derivanti dal dilavamento di superfici impermeabili/permeabili non adibite allo svolgimento di attività produttive, che possono effettivamente comportare il rischio di trascinarsi di sostanze pericolose per l'ambiente.

Le acque meteoriche dilavanti non contaminate possono essere allontanate senza alcun trattamento.

Per il trattamento delle acque meteoriche contaminate si devono utilizzare idonei sistemi di depurazione, soggetti all'autorizzazione allo scarico prevista dall'articolo 113, comma 1, lettera b) del D.Lgs. n. 152/2006.

Secondo l'art. 2.2.7 "Riduzione dell'impatto sul sistema idrografico superficiale e sotterraneo" dei CAM, si devono eseguire le seguenti misure:

- Il progetto deve prevedere azioni in grado di prevenire sversamenti di eventuali acque inquinate e soprattutto prevedere lo smaltimento delle stesse in seguito alla loro depurazione;
- Previsione e realizzazione di impianti di depurazione delle acque di prima pioggia da superfici scolanti soggette a inquinamento, ad esempio aree dove vengono svolte operazioni di carico, scarico o deposito di rifiuti pericolosi. In questo caso le superfici dovranno essere impermeabilizzate al fine di impedire lo scolamento delle acque di prima pioggia sul suolo e nelle acque sotterranee;
- Interventi atti a garantire un corretto deflusso delle acque superficiali dalle superfici impermeabilizzate anche in occasione di eventi meteorologici eccezionali e, nel caso in cui le acque dilavate siano potenzialmente inquinate, devono essere adottati sistemi di depurazione, anche di tipo naturale.

Per il trattamento delle acque, si fa riferimento al sistema di accumulo delle acque meteoriche, introdotto al par. 4.6.2, provvisto di un sistema di depurazione delle acque.

4.6.6 Suolo e sottosuolo

Secondo l'art. 2.2.3 "Riduzione del consumo di suolo e mantenimento della permeabilità dei suoli", gli interventi di ristrutturazione urbanistica deve avere le seguenti caratteristiche:

- Non può prevedere nuovi edifici o aumenti di volumi di edifici esistenti in aree protette di qualunque livello e genere;
- Deve prevedere una superficie territoriale permeabile uguale o superiore al 60% della superficie di progetto (es. superfici verdi, pavimentazioni con maglie aperte o elementi grigliati etc) ;
- Deve prevedere una superficie da destinare a verde pari ad almeno il 40% della superficie di progetto non edificata e il 30% della superficie totale del lotto;

- Deve garantire, nelle aree a verde pubblico, una copertura arborea di almeno il 40% e arbustiva di almeno il 20% con specie autoctone, privilegiando le specie vegetali che hanno strategie riproduttive prevalentemente entomofile ovvero che producano piccole quantità di polline la cui dispersione è affidata agli insetti;
- Deve prevedere, nella progettazione esecutiva, e di cantiere la realizzazione di uno scotico superficiale di almeno 60 cm delle aree per le quali sono previsti scavi o rilevati. Lo scotico dovrà essere accantonato in cantiere in modo tale da non comprometterne le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche ed essere riutilizzato per le sistemazioni a verde su superfici modificate;
- Le aree occupate dai cantieri, al fine di garantire la tutela di suolo e sottosuolo, dovranno essere condotte delle verifiche che dimostrino l'assenza di contaminazioni nei terreni occupati e, se necessario, al termine dei lavori dovranno essere previste delle azioni di bonifica, prima della sistemazione finale. Inoltre le aree di cantiere di servizio dovranno essere realizzate in modo tale da garantire la completa protezione del suolo e sottosuolo da eventuali sversamenti accidentali (sosta mezzi cantiere, impianti mobili rifornimento mezzi ecc.).

Il cantiere di Orbassano presenta un'area destinata a verde pari a 950 m², vi sono 3 arbusti autoctoni e la pavimentazione esterna è a maglie aperte in porfido, rispettando i limiti dei CAM.

4.6.7 Rifiuti

Secondo l'art. 2.5.1 "Demolizioni e rimozione dei materiali" dei CAM, allo scopo di ridurre l'impatto ambientale sulle risorse naturali, di aumentare l'uso di materiali riciclati aumentando così il recupero dei rifiuti, con particolare riguardo ai rifiuti da demolizione e costruzione, fermo restando il rispetto di tutte le norme vigenti e di quanto previsto dalle specifiche norme tecniche di prodotto, le demolizioni e le rimozioni dei materiali devono essere eseguite in modo da favorire, il trattamento e recupero delle varie frazioni di materiali. I Criteri Minimi Ambientali prevedono che:

- Nei casi di ristrutturazione, manutenzione e demolizione, almeno il 70% in peso dei rifiuti non pericolosi generati durante la demolizione e rimozione di edifici, parti di edifici, manufatti di qualsiasi genere presenti in cantiere, ed escludendo gli scavi, deve essere avviato a operazioni di preparazione per il riutilizzo, recupero o riciclaggio;

- Effettuare una stima della percentuale di riutilizzo e il potenziale di riciclaggio sulla base di proposte di sistemi di selezione durante il processo di demolizione;
- Effettuare una stima della percentuale potenziale raggiungibile con altre forme di recupero dal processo di demolizione;
- Attuare le misure per implementare la raccolta differenziata nel cantiere (tipo di cassonetti/contenitori per la raccolta differenziata, le aree da adibire a stoccaggio temporaneo, etc.) e per realizzare la demolizione selettiva e il riciclaggio dei materiali di scavo e dei rifiuti da costruzione e demolizione (C& D) ;

Per osservare i CAM, si attua una demolizione selettiva della tettoia presente nel cortile esterno, di 88 m², costituita da una struttura portante in cemento armato, copertura in tegole e opere in lattoneria.



Immagine 10. Tettoia cortile esterno in fase di demolizione

Dunque si separano i materiali in frazioni omogenee, allontanando i materiali che presentano potenziali inquinanti da quelli riutilizzabili.

I materiali destinati al riciclo si depositano in cantiere per poi essere smaltiti presso l'impianto Ambienthesis, sito ad Orbassano a 8 km di distanza dal cantiere.

La stima dei materiali da riciclare è difficile da effettuare in fase di progettazione così come la stima dei rifiuti, ma si può affermare che tramite la demolizione selettiva è possibile recuperare più del 50% dei materiali.

Un altro importante aspetto da considerare è la scarsa emissione di CO2 dovuta al trasporto dei rifiuti all'impianto di riciclaggio, in quanto la distanza dal cantiere è inferiore ai 10 Km e la quantità di materiale da trasportare è ridotta.

Per le altre attività di cantiere si producono rifiuti recuperabili, quali parti di muratura, di pavimentazione, casseri, barre di ferro ecc.

È importante specificare che per rispettare appieno i CAM, il paragrafo 2.4, impone di utilizzare materiali conformi ai criteri ecologici e prestazionali previsti dalle decisioni 2010/18/CE30, 2009/607/CE31 e 2009/967/CE3, dunque realizzati con materiale di recupero e sostenibili.

4.7 Stima dei costi del cantiere sostenibile

In seguito alla quantificazione dell'effettivo impatto ambientale del cantiere, analizzando ogni sfera ambientale, e all'individuazione delle misure di mitigazione, si può studiare l'impatto economico delle opere di mitigazione.

La maggior parte delle misure di mitigazione sono accorgimenti di buona pratica del cantiere che non presentano un sovrapprezzo rispetto alle lavorazioni condotte in modo tale da non rispettare le norme ambientali.

È difficile stimare il costo delle varie soluzioni sostenibili da attuare al cantiere tradizionale, il Prezzario della Regione Piemonte 2020 non fornisce il costo di impianti e mezzi d'opera necessari a ridurre l'impatto ambientale del cantiere; inoltre nella nota metodologica del Prezzario si legge "Dagli esiti della rilevazione effettuata dalla Regione Piemonte emerge che il mercato della produzione dei materiali presi in considerazione dai decreti CAM è attualmente ancora poco adeguato alla nuova normativa; per tale motivo l'elenco presentato nel prezzario regionale 2020 è formato da un numero limitato di prodotti."

Tuttavia è stato possibile ricavare le seguenti informazioni dal Prezzario della Regione Piemonte 2020:

Stazione di lavaggio per ruote -Fornitura in opera di stazione di lavaggio per ruote di automezzi, comprensivo del montaggio, messa in funzione, collaudo, rete elettrica e relativi cablaggi, operazioni di scarico e posizionamento in loco della stazione con idonea gru- : $27'967,50 \text{ €} \times 1 = 27'967,50 \text{ €}$;

Pannello fonoassorbente - antipolvere: $367,21\text{€} \times 11 \text{ m} = 4'039,31 \text{ €}$

Nolo sistema di nebulizzazione: $37,62 \text{ €} \times 50 \text{ giorni} = 1'881,00 \text{ €}$

Impianto di recupero Acqua Piovana : $3'350,00 \text{ €} \times 1 = 3'350,00 \text{ €}$

Totale = 37'237,81 €

Sicuramente la spesa più onerosa da parte dell'impresa riguarda i **mezzi d'opera EEV**, ma tale costo iniziale può essere ammortizzato nel tempo, guadagnando una migliore immagine dell'impresa che può portare ad una crescita della domanda dei servizi, un maggiore risparmio sul costo del carburante e un risparmio sulla tassazione dei mezzi grazie agli incentivi offerti dallo stato.

Inoltre sostenere l'adozione di carburanti più puliti può influenzare lo sviluppo di economie locali o nazionali per la produzione e la distribuzione di carburanti alternativi.

Dunque una **stima economica totale delle soluzioni sostenibili** si aggira attorno i 70'000,00 €.

L'importo a base di gara per il restauro e rifunzionalizzazione degli immobili "Ex Cottolengo" è di 1'171'000,00 €, dunque **l'impatto economico delle opere di mitigazione** comporta un incremento percentuale del 6% rispetto all'importo a base di gara.

CONCLUSIONI

Da qualche anno si pone maggiore attenzione sui temi ambientali in ogni settore economico, tale sensibilità è dovuta soprattutto alla grave crisi climatica e ambientale che stiamo vivendo. Le maggiori potenze mondiali cercano di divulgare informazioni utili, linee guida, normative che aiutano a raggiungere obiettivi sostenibili, per evitare la distruzione degli habitat naturali. Il cambiamento climatico, gli incendi di grandi dimensioni, la deforestazione, l'inquinamento idrico e marino sono causati soprattutto dalle emissioni di gas serra e di inquinanti in atmosfera, dalla cattiva gestione dei rifiuti, dall'estrazione di materie prime e da altre attività della comunità non strettamente sostenibili.

Il tema centrale della tesi è la gestione del cantiere, che deve essere necessariamente pianificato in modo tale da ridurre l'impatto ambientale.

Quando si pensa all'edilizia sostenibile, molto spesso, si pensa all'opera edile o civile che nel corso della propria vita utile deve rispettare degli standard energetico-ambientali.

Bisogna però soffermarsi anche sul processo di cantierizzazione, costruzione e demolizione dell'opera, in quanto l'area di cantiere impatta fortemente sull'ambiente, se non si prevedono delle opere di mitigazione.

La quantificazione dell'impatto ambientale di un cantiere è un'operazione complessa, soprattutto per la mancanza di dati oggettivi e normative che guidino tale operazione.

Durante le fasi di costruzione dell'opera si consumano materie prime, risorse naturali, si utilizzano mezzi e attrezzature ad alta emissione di polveri sottili e CO₂, producendo un considerevole impatto ambientale.

Negli ultimi anni, sia la Pubblica Amministrazione che l'industria delle costruzioni si sono soffermati sulla redazione di protocolli, non obbligatori, che considerano gli aspetti ambientali del cantiere (LEED, BREEAM, HQE, ITACA ecc.).

L'attenzione ai temi ambientali è un valore aggiunto negli appalti pubblici e privati ma la gestione del cantiere non è mai stata rielaborata e migliorata dal punto di vista ambientale.

Infatti, se in un cantiere sono applicate le misure di mitigazione, come la gestione dei rifiuti, il controllo delle polveri, la riduzione del consumo di materie prime ecc, viene assegnato un punteggio che rispetto a quello necessario per ottenere la certificazione risulta esserne una minima parte.

I protocolli ambientali assegnano un valore secondo criteri standard per ogni tipologia di intervento, non considerando che alcuni accorgimenti hanno un diverso peso in condizioni diverse.

Dunque, i protocolli non sono utili alla misura della sostenibilità del cantiere ma possono essere utilizzati come linee guida per la progettazione del cantiere.

Di grande importanza sono le norme internazionali ISO14001 e il Regolamento comunitario EMAS, che definiscono le procedure per la stesura di un Sistema di Gestione Ambientale.

L'ambito normativo della gestione sostenibile del cantiere è molto vasto ma non è supportato da piani attuativi chiari ed efficaci, ciò può causare confusione e può portare a non far raggiungere l'obiettivo prefissato alle imprese.

Tuttavia, l'aspetto ambientale è fondamentale per le imprese, le quali sono soggette a sanzioni penali se responsabili di eventuali danni ambientali che comportano rischi ai lavoratori e alla comunità residente nei pressi del cantiere.

Il cantiere di restauro e rifunzionalizzazione degli immobili costituenti il complesso denominato "Ex Cottolengo", essendo nel centro urbano di Orbassano, risulta essere molto impattante soprattutto per la mobilità, il rumore e le polveri dovute alle attività del cantiere, nonostante sia un cantiere di modeste dimensioni.

L'analisi dell'impatto ambientale è stato eseguito seguendo il modello PDCA, individuando inizialmente per ogni attività il rispettivo impatto ambientale in modo tale da individuare, più facilmente, la soluzione sostenibile più efficace per ridurre l'impatto stesso.

Secondo il modello PDCA bisogna monitorare le azioni durante l'esecuzione dei lavori per provvedere ad eventuali riesami delle procedure.

Si è dimostrato che la buona pratica di cantiere aiuta a ridurre l'impatto ambientale, una buona organizzazione del cantiere è fondamentale per la sfera ambientale ma in molti casi non è sufficiente per la riduzione dell'impatto stesso.

Dunque il piano gestione ambientale è fondamentale per i cantieri, anche se non obbligatorio, bisognerebbe spingere le imprese alla redazione dello stesso.

È sicuramente un'operazione complessa in quanto si hanno bisogno di dati e variabili che riguardano l'intero processo edilizio, dunque difficili da reperire, inoltre l'adozione di misure e prodotti sostenibili è sicuramente più onerosa rispetto all'utilizzo di prodotti tradizionali.

Bisognerebbe incentivare le imprese ad adottare pratiche sostenibili in cantiere mediante lo stanziamento in appalto di un importo, non soggetto a ribasso, che possa coprire le spese sostenute dall'impresa per la mitigazione dell'impatto ambientale.

L'obiettivo della tesi è sicuramente quello di porre maggiore attenzione alla fase iniziale del processo edilizio, in modo tale da aumentare la sensibilità ai temi ambientali e migliorare la qualità del settore edilizio.

BIBLIOGRAFIA

Allegato 5.2°, Emissioni in fase di Cantiere, Edison Spa;

Bruzzi L. (1999), Valutazione di impatto ambientale, Maggioli Editore, Rimini;

La Camera F. (2003), Sviluppo sostenibile, origini, teoria e pratica, Editori riuniti, Roma;

Lacava M. e Solustri C. (1997), Progetto e sicurezza del cantiere, La Nuova Italia Scientifica, Roma;

D.lgs 4/2008, Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale;

D.lgs. 152/1999, Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento da nitrati provenienti da fonte agricole;

D.lgs. 152/2006, Norme in materia ambientale;

D.lgs. 22/1997, Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio;

D.lgs. 81/2008, Testo unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;

D.M. 471/99, Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati;

D.P.C.M. 1/3/91, Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno;

D.P.C.M. 14/11/1997, Aggiornamento del D.P.C.M 1/3/91, Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore;

D.P.C.M. 27 dicembre 1988, Allegato I, Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità;

Zeppetella A., Bresso M. e Gamba G. (1992), Valutazione ambientale e processi di decisione, La Nuova Italia Scientifica, Roma;

SITOGRAFIA

ACCREDIA , Ente italiano di accreditamento: <http://www.accredia.it/>

ARPA Piemonte: <http://www.arpa.piemonte.it/>

Arpa Lombardia: <http://ita.arpalombardia.it/>

BREEAM, BRE Environmental Assessment Method: <http://www.breeam.org/>

California Stormwater Quality Association: <http://www.cabmphandbooks.com/>

Caterpillar: <http://www.cat.com/>

CIFA, Compagnia Italiana Forme Acciaio S.p.A: <http://www.cifa.com/>

CIR AMBIENTE: <http://www.cir-ambiente.it/>

Commissione Europea: <http://ec.europa.eu/>

EPA, Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/>

Euromec: <http://www.euromec.net/>

Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana: <http://www.gazzettaufficiale.it/>