

Paper n° 11

ANALISI DELL'IMPATTO SOCIO AMBIENTALE DEI CANTIERI NO-DIG E OPEN-CUT IN CONTESTO URBANO: MODELLO DI CALCOLO DEI COSTI INDIRETTI E QUATTRO CASI STUDIO

Ing. Stefano Roberto Carnevali
Rotech S.r.l./Filiale di Milano

Ing. Lorenzo Frigato
Rotech S.r.l./Ufficio QHSE

1. INTRODUZIONE

È noto che le tecnologie *no-dig* siano in grado di ridurre gli effetti negativi sull'ambiente nelle vicinanze del cantiere e sulla comunità che vive attorno ad esso rispetto alle più tradizionali tecniche di scavo a cielo aperto, tanto che hanno guadagnato, nel tempo, l'appellativo di "tecnologie a basso impatto ambientale".

Tuttavia, quest'argomento rappresenta ancora un tabù quando si tratta di quantificare tali effetti.

In primis, verranno descritti i possibili impatti dei cantieri per la realizzazione di un intervento di rinnovamento o di nuova posa di una condotta e il modo in cui essi possono essere quantificati mediante la loro monetizzazione in termini di "costi indiretti", definiti come i valori monetari equivalenti degli effetti negativi che vengono pagati dalla comunità e non sono inclusi nei costi del contratto d'appalto.

Successivamente, verrà presentato un modello di calcolo dei costi indiretti basato su formule già presenti nella letteratura, sia italiana che straniera e realizzato mediante un apposito foglio di calcolo Excel. Inserendo opportuni dati di input, il foglio di calcolo consente di ottenere il valore dei costi che ricadono sulla comunità, sia nel caso in cui l'intervento venga realizzato con tecnologie *no-dig*, sia nel caso in cui vengano utilizzate tecniche per la nuova posa.

Infine, il foglio di calcolo sarà testato su quattro interventi di risanamento differenti tra loro per parametri progettuali e contesto socio-ambientale, ma accomunati dall'utilizzo della stessa tecnologia *no-dig* (*CIPP UV*). In questo modo, è stato possibile valutare l'incidenza dei costi indiretti sui costi totali ed effettuare un confronto diretto tra gli effetti negativi provocati dall'utilizzo degli scavi a cielo aperto e la tecnologia *no-dig*.

2. IMPATTI SOCIO-AMBIENTALI E COSTI INDIRETTI DEI CANTIERI URBANI

La comunità che circonda i dintorni di un cantiere spesso si trova a dover affrontare degli impatti negativi. Specie in ambito urbano, dove è concentrata la maggior parte dei sottoservizi, l'apertura di scavi a cielo aperto per intervenire sulle reti interrato genera degli effetti negativi e indesiderati per le strade, il traffico veicolare e pedonale, l'ambiente acustico ed atmosferico, le attività economico/residenziali locali e, non ultimo, per l'immagine della città. In determinati ambiti urbani, come i centri storici, molti di questi effetti sono incompatibili con la struttura, la funzionalità e le attività che caratterizzano codesti ambienti.

Nelle seguenti righe saranno descritti dettagliatamente e suddivisi per categorie tutti i possibili impatti che possono essere prodotti dai cantieri in contesti urbani.

Traffico e viabilità: la realizzazione di nuovi servizi pubblici e il rinnovo di quelli esistenti hanno un impatto diretto sulle strade e generano ritardi dovuti alla velocità ridotta attorno alla zona dei lavori, alla chiusura di corsie ed alla modifica della circolazione stradale. Anche i cantieri posizionati fuori dalla sede stradale in aree urbane possono rappresentare un ostacolo alla normale circolazione a causa del passaggio di mezzi pesanti e di macchinari che devono entrare e uscire dal cantiere.

In contesti urbani i principali effetti negativi che possono verificarsi a causa dei cantieri sono chiusure prolungate dello spazio stradale, deviazioni e danneggiamenti al manto stradale per le attività di scarifica. Questi impatti si possono tradurre in maggiori tempi e/o distanze percorse per veicoli e pedoni in caso di rallentamenti o deviazioni del percorso, minore disponibilità di parcheggio, necessità di manutenzione stradale e maggiori *discomfort* di viaggio e rischi di incidenti.

Inquinamento e sistemi ecologici: gli impatti da inquinamento che caratterizzano le attività di cantiere sono di diverse tipologia e intensità, a seconda delle attività compiute e dei macchinari utilizzati. Le principali forme di inquinamento sono rumori, polveri, vibrazioni, emissioni di inquinanti, danni ai sistemi ecologici, deturpazione del sottosuolo e della qualità estetica dell'ambiente.

Questi impatti possono generare:

- interferenze con le attività delle persone (ad esempio perdita di produttività lavorativa)
- danni alla salute dell'organismo (stanchezza, irritazione, stress, disturbi del sonno, ipertensione arteriosa)
- perdita di valore dell'ambiente circostante

Attività commerciali e residenziali: gli impatti sul traffico stradale e le diverse forme di inquinamento prodotti dalle lavorazioni di cantiere si riflettono sulla vita dei cittadini che lavorano o vivono nelle vicinanze delle fonti di disturbo. Gli impatti sulla società sono essenzialmente di due tipologie:

- le diseconomie esterne per le attività commerciali, ovvero le perdite economiche, in termini di mancato fatturato, generate a causa delle interferenze tra i cantieri e le attività economiche locali di commercio, servizio ed artigianato;
- il disagio generalizzato e le interferenze con gli spazi residenziali, derivanti dall'esposizione delle persone a livelli di rumore, inquinanti e vibrazioni al di sopra delle soglie di tollerabilità e perdite di tempo per i cittadini, che si verificano quando le persone sono vincolate a percorrere itinerari alternativi o disagiati a causa dell'indisponibilità o dell'alterazione temporanea di spazi destinati al transito delle persone.

Rischio e sicurezza: la possibilità di procurare danni a persone o cose mediante l'impiego in cantiere di una particolare tecnologia esecutiva. Questi impatti possono essere, ad esempio, danneggiamenti di altri sottoservizi o oggetti interrati, fondazioni di edifici, siti archeologici, cisterne e locali interrati, oppure incidenti degli operai addetti alle lavorazioni del cantiere ed incidenti che coinvolgono terzi.

A questo punto, ci si può chiedere in che modo sia possibile *quantificare* l'intensità degli impatti socio-ambientali generati da un cantiere, riferendosi, se possibile, a un'unica unità di misura, in modo da permettere un confronto diretto di tutti gli impatti. Questa domanda trova risposta nella monetizzazione degli impatti in termini di *costi indiretti*, definiti come "i valori monetari equivalenti degli impatti negativi provocati dai progetti di costruzione che vengono pagati dalla comunità e non sono inclusi nei costi del contratto d'appalto" e, in particolare, nell'identificazione di particolari indicatori, detti *indicatori di costo indiretto*, che assegnano all'intensità dell'impatto considerato (espressa in termini di tempo, lunghezza, quantità di emissioni, ecc.) un valore monetario equivalente (espresso in termini di valuta). In Tabella 1 vengono mostrati gli indicatori di costo indiretto afferente a ciascuna categoria (interferenza con infrastrutture stradali, società, ambiente, rischio).

Tabella 1 – Indicatori di costi indiretto, divisi per categorie

CATEGORIA	INDICATORI DI COSTO INDIRETTO	SIMBOLO
COSTI DI INTERFERENZA CON LE INFRASTRUTTURE STRADALI	Maggiore tempo di percorrenza sopportato dagli utenti della strada	C _{mtp}
	Maggiore tempo di percorrenza sopportato dai pedoni	C _{ped}
	Maggiore consumo di carburante sopportato dagli utenti della strada	C _{mc}
	Perdita di spazio per il parcheggio	C _{pp}
	Perdita delle caratteristiche originarie della strada	C _{pco}
	Incidenti stradali	C _{is}
	<i>Discomfort</i> di viaggio sopportato dagli utenti della strada	C _{dv}
COSTI SOCIALI	Diseconomie esterne	C _{de}
	Disagio generalizzato e interferenze con gli spazi residenziali	C _d
COSTI AMBIENTALI	Inquinamento acustico	C _{ir}
	Inquinamento da polvere e sporcizia	C _{ip}
	Inquinamento atmosferico	C _{ia}

	Sistemi socio-ecologici alterati	C _{sa}
COSTI DI RISCHIO	Indicatori dei costi di rischio	C _r

3. MODELLO DI CALCOLO DEI COSTI INDIRETTI DI CANTIERE

È noto che le tecnologie *no-dig*, a parità di condizioni al contorno, impattano a livello socio-ambientale in misura inferiore rispetto alle tecniche tradizionali di scavo a cielo aperto: ciò si traduce in costi indiretti minori per i cantieri *trenchless*. In presentazioni, articoli e paper scientifici di divulgazione su questo argomento si evince che i costi indiretti dei cantieri *no-dig* risultano inferiori dell'**80%** rispetto a quelli dei cantieri che utilizzano tecniche *open-cut*. Tuttavia, un approccio unificato e robusto per la stima dei costi indiretti non è ancora presente nella letteratura. Emerge quindi la necessità dedicare lo studio alla definizione di un approccio metodologico mirato alla stima in valore assoluto dei costi indiretti.

Con questo obiettivo, è stato formulato un modello per il calcolo dei costi indiretti di un cantiere generico. Tale modello trae spunto dalle indicazioni tecniche tratte da una disamina critica della letteratura specialistica di settore sia nazionale sia internazionale.

In base alla metodologia IGC descritta nel “*Manuale di Tecnologie No-Dig – Le tecniche e le metodologie di calcolo*”, il Costo Indiretto Generalizzato (IGC) è dato dall’Eq.1:

$$IGC = C_i + C_s + C_a + C_r \quad [1]$$

C_i è il **costo di interferenza con infrastrutture di trasporto stradali** e viene espresso come somma delle voci di costo indiretto presenti nell’Eq.2:

$$C_i = \beta [C_{mtp} + C_{ped} + C_{mc} + C_{pp} + C_{is} + C_{dv}] + C_{pco} \quad [2]$$

- β è il **coefficiente moltiplicativo dipendente dalla natura dell’opera**. Tale coefficiente permette di introdurre una differenziazione e quindi una diversa incidenza dei costi indiretti calcolati, a seconda che l’utilità dell’opera e il capitale d’investimento siano pubblici o privati. Tale differenziazione viene effettuata poiché, quando la collettività promuove la realizzazione di tali opere attraverso investimenti di capitale pubblico e/o misto, gli oneri stessi devono risultare inferiori perché i vantaggi economici diretti indotti dalle nuove opere ricadono interamente o in quota parte sulla collettività. Quando, invece, l’investimento è di natura privata e lo è anche l’utilità dell’opera stessa, nonché il vantaggio economico diretto, i costi indiretti ricadenti sulla comunità hanno un’incidenza maggiore. In Tabella 2 vengono riportati i valori suggeriti per il coefficiente β .⁴ Tuttavia, sebbene questo approccio sia condivisibile, nel calcolo dei costi indiretti dei casi studio proposti nel capitolo successivo il coefficiente β verrà sempre adottato uguale a 1, sia perché vi è incertezza in merito alla sua stima, sia perché si intende mostrare la reale entità dei costi indiretti di un cantiere, indipendentemente dall’utilità dell’opera e dalla natura del capitale investito. In tal modo, sarà possibile effettuare un confronto tra i costi indiretti e i costi diretti sostenuti per la realizzazione delle stesse opere.

Tabella 2 - Valori suggeriti per il coefficiente β in “*Manuale di Tecnologie No-Dig – Le tecniche e le metodologie di calcolo*”

Utilità dell’opera	Capitale d’investimento		
	Pubblico	Misto	Privato
Pubblica	0,10	0,15	0,20
Privata	1	1	1

- C_{mtp} è il **costo del maggiore tempo di percorrenza sopportato dagli utenti della strada**. Questo indicatore di costo monetizza il ritardo sulla base del minor reddito prodotto dagli utenti della strada a causa del ritardo stesso. In generale, è possibile calcolarlo con una formula del tipo:

$$C_{mtp} = V_{amt} \times N_p \times DT_{AVG} \quad [3]$$

- V_{amt} [€/h/passeggero] il valore monetario medio aggregato dell’unità di tempo;
- N_p [n° passeggeri] il numero totale dei passeggeri presenti sui veicoli che subiscono la perdita di tempo durante la cantierizzazione;
- DT_{AVG} [h] il ritardo medio sopportato dagli utenti della strada sul percorso di viaggio, causato dalla presenza del cantiere.⁴

- C_{ped} è il **costo del maggiore tempo di percorrenza sopportato dai pedoni** (addendo presente nella letteratura americana, aggiunto alla formulazione IGC originale).² Questo indicatore è stato trascurato a causa della mancanza di metodi o dati sufficientemente completi ed accurati per il suo calcolo.
- C_{mc} è il **costo del maggiore consumo di carburante sopportato dagli utenti della strada**. Questo indicatore comprende sia i costi aggiuntivi di carburante, sia i costi di manutenzione dovuti alla maggiore usura del veicolo e degli pneumatici.

Se il traffico viene deviato, i veicoli sono costretti, generalmente, ad allungare il loro percorso, e C_{mc} può essere calcolato con la formula:

$$C_{mc} = C_{mc,C} + C_{mc,HV} \quad [3]$$

dove $C_{mc,C}$ e $C_{mc,HV}$ sono, rispettivamente, i costi del maggiore consumo di carburante dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti, il cui calcolo è basato sul numero di veicoli transitanti, sulla lunghezza della deviazione e sul costo di operatività al chilometro, diverso a seconda della categoria di peso dei veicoli.²

Se il traffico non viene deviato, i motori dei veicoli consumano comunque più carburante poiché girano per un tempo più lungo rispetto al normale (seppur a bassi regimi). In tal caso C_{mc} può essere calcolato con la formula:

$$C_{mc} = c_{cs} \times N_V \times DT_{AVG} \quad [4]$$

- c_{cs} [€/h/veicolo] è il costo per unità di tempo di funzionamento aggiuntivo del motore, basato sulla potenza media dei motori dei veicoli che girano a basso regime, sul consumo specifico di carburante dei motori e sul prezzo medio del carburante;
 - N_V [n° veicoli] è il numero totale di veicoli che subiscono la perdita di tempo durante la cantierizzazione;
 - DT_{AVG} [h] è il ritardo medio sopportato dagli utenti della strada sul percorso di viaggio, causato dalla presenza del cantiere.⁴
- C_{pp} è il **costo della perdita di spazio di parcheggio**. Questo indicatore viene calcolato solo se gli stalli eventualmente occupati dal cantiere sono a pagamento, poiché costituiscono una perdita di entrata nelle casse comunali, causate dal mancato pagamento del parchimetro e dalle multe che non vengono più effettuate sugli stalli occupati. Può essere calcolato con la formula:

$$C_{pp} = C_F + C_{PM} \quad [5]$$
 - C_F è il costo della mancata entrata dalle multe effettuate;
 - C_{PM} è il costo del mancato pagamento del parchimetro.²
 - C_{is} è il **costo degli incidenti stradali sopportato dalla comunità**.⁴ Questo indicatore è stato trascurato poiché la sua stima può essere effettuata con elaborazioni di statistiche assicurative e risulta complesso da calcolare con un modello matematico.
 - C_{dv} è il **costo del discomfort di viaggio sopportato dagli utenti della strada**.⁴ Questo indicatore è stato trascurato a causa della mancanza di metodi o dati sufficientemente completi ed accurati per il suo calcolo.
 - C_{pco} è il **costo per la perdita delle caratteristiche originarie dell'infrastruttura viaria**. Questo indicatore di costo va inteso come una quota destinata al ripristino delle caratteristiche originarie dell'infrastruttura viaria, permanentemente compromesse dall'apertura di scavi a cielo aperto. Essa viene stimata come percentuale del costo, opportunamente attualizzato, dei ripristini provvisori effettuati per la posa in opera del sottoservizio, come evidenziato dall' Eq.6:

$$C_{pco} = \alpha \times c_r \cdot A_{pav} \times (1 + i)^{n_a} \approx \alpha \times c_r \cdot (L_{sc} \cdot W_{sc}) \times (1 + i)^{n_a} \quad [6]$$
 - α [-] è un coefficiente adimensionale compreso tra 0,2 e 0,4 che tiene conto della programmazione dei lavori nel sottosuolo e del ciclo di vita utile della strada;
 - c_r [€/m²] è il costo unitario dei ripristini provvisori;
 - A_{pav} [m²] è la superficie della pavimentazione distrutta, circa uguale al prodotto della lunghezza L_{sc} [m] e della larghezza W_{sc} [m] degli scavi realizzati;
 - i [-] è il tasso medio di attualizzazione;
 - n_a [n° anni] è il numero di anni dalla chiusura del cantiere dopo i quali è necessario effettuare un nuovo intervento di ripristino sulla strada.

La perdita delle caratteristiche originarie dell'infrastruttura stradale costituisce una perdita di valore di un bene pubblico. Per questo, a prescindere dalla natura pubblica o privata dell'investimento e dell'utilità dell'opera, il coefficiente β non viene applicato (ovvero viene assunto pari a 1) all'indicatore C_{pco} nel calcolo di C_i .⁴

C_s indica la componente dei **costi sociali**, stimabile come descritto nell'Eq.7:

$$C_s = \beta[C_{de} + C_d] \quad [7]$$

- β è il **coefficiente moltiplicativo dipendente dalla natura dell'opera**, definito come in precedenza.
- C_{de} è il **costo derivante dalle diseconomie esterne** per le attività commerciali. Può essere calcolato con la l'Eq.8:

$$C_{de} = F_m \times p_{ma} \times r_m \times d_{me} \times L_{str} \times T_{cant} \quad [8]$$

- F_m [€/mese/attività commerciale] è il fatturato medio mensile delle attività economiche presenti nella zona;
- p_{ma} [-] è il minore fatturato indotto dalla cantierizzazione, il cui valore, espresso come percentuale del fatturato medio mensile, è suggerito nella Tabella 3 ricavata dalla letteratura italiana;
- r_m [-] è il profitto medio delle attività, espresso come percentuale del fatturato medio mensile;
- d_{me} [n° attività commerciali/km] è la densità media di attività commerciali nella zona influenzata dal cantiere;
- L_{str} [km] è la lunghezza della strada influenzata dal cantiere;
- T_{cant} [mesi] è la durata del cantiere.⁴

Tabella 3 - Valori suggeriti per il fattore p_{ma} in “Manuale di Tecnologie No-Dig – Le tecniche e le metodologie di calcolo”

Posizione del cantiere	NO-DIG	OPEN-CUT
Lungo la strada	0÷5%	25÷50%
Lungo il marciapiede	10÷20%	40÷90%

- C_d è il **costo del disagio e delle interferenze con gli spazi residenziali**.⁴ Per gli scavi a cielo aperto, tale indicatore può essere stimato con la formula:

$$C_{d,oc} = (s_p \times C_{c,oc}) \times G_{urb} \quad [9]$$

- s_p [-] è il sovrapprezzo del costo di costruzione dell'opera *open-cut* per la rimozione del disagio, applicato secondo la Tabella 4;
- $C_{c,oc}$ [€] è il costo di costruzione dell'opera *open-cut*;
- G_{urb} [-] è il grado di urbanizzazione dell'area attorno al cantiere, stimabile con la Tabella 5.

Sulla base di questo valore, è possibile calcolare lo stesso costo utilizzando una tecnologia *no-dig*:

$$C_{d,ND} = r_t \times r_a \times C_{d,oc} \quad [10]$$

- r_t [giorni/giorni] è il rapporto delle durate dei cantieri *no-dig* e *open-cut*;
- r_a [m²/m²] è il rapporto delle superfici occupate dai cantieri *no-dig* e *open-cut*.

Tabella 4 - Valori del fattore di s_p al variare della posizione del cantiere

Sviluppo del cantiere	s_p [-]
Lungo la carreggiata stradale	0,2
Lungo il marciapiede	0,4
All'interno di una proprietà privata	0,6

Tabella 5 - Valori del fattore G_{urb} al variare del grado di urbanizzazione dell'area

Grado di urbanizzazione dell'area intorno al cantiere	G_{urb} [-]
Area estremamente urbanizzata	0,9÷1
Area fortemente urbanizzata	0,7÷0,9
Area mediamente urbanizzata	0,5÷0,7
Area debolmente urbanizzata	0,3÷0,5
Area rurale coltivata	0,1÷0,3
Area rurale non coltivata	0÷0,1

C_a rappresenta i **costi di impatto ambientale** esprimibile come somma degli addendi presenti nell'Eq.11:

$$C_a = C_{ir} + C_{ip} + C_{ia} + C_{sa} \quad [11]$$

- C_{ir} è il **costo dell'inquinamento da rumore**.² Questo indicatore è stato trascurato a causa della mancanza di dati sufficientemente completi ed accurati per il suo calcolo.
- C_{ip} è il **costo dell'inquinamento da polvere e sporcizia**. Può essere stimato con la seguente formula:

$$C_{ip} = T_{ap} \times W_c \times N_{AEP} \times T_{cant} \quad [12]$$
 - T_{ap} [min/settimana/attività] è il tempo aggiuntivo necessario per rimuovere la polvere;
 - W_c [€/h] è la paga media oraria del servizio di pulizia;
 - N_{AEP} [n° attività] è il numero di attività che necessita di pulizia extra;
 - T_{cant} [h] è la durata del cantiere.²
- C_{ia} è il **costo dell'inquinamento atmosferico**, calcolato con la seguente formula semplificata:

$$C_{ia} = c_{em} \times Em_{CO_2} \quad [13]$$
 - c_{em} [€/kg_{CO2}] il costo unitario dell'emissione di CO₂;
 - Em_{CO_2} [kg_{CO2}] il quantitativo di emissioni di CO₂ in atmosfera dell'intervento.²
- C_{sa} è il **costo dell'alterazione dei sistemi ecologici**.¹ Questo indicatore è stato trascurato a causa della mancanza di metodi sufficientemente completi ed accurati per il suo calcolo.

4. CASE HISTORIES

Il modello descritto nel capitolo precedente è stato utilizzato per calcolare i costi indiretti di quattro differenti cantieri *no-dig*, in cui l'intervento di risanamento è stato eseguito dall'azienda Rotech Srl. I quattro interventi, pur differenziandosi tra loro sia per gli elementi progettuali (diametro e lunghezza della condotta da rinnovare, durate e spazi di cantierizzazione, ecc.) sia per il contesto socio-ambientale della zona che circondava i lavori, sono accomunati dall'uso della medesima tecnica di risanamento, ovvero la tecnologia *CIPP UV*.

Ciò consente di confrontare direttamente gli impatti generati dall'utilizzo degli scavi a cielo aperto e dalla tecnologia *no-dig*.

4.1 Milano, Viale Monza

Il primo cantiere considerato riguarda il rinnovamento di un collettore fognario esistente localizzato nel Comune di Milano, più precisamente in Viale Monza, tra l'incrocio con via Natale Battaglia e quello con via Luigi Pasteur. La condotta da risanare, in calcestruzzo, ha uno sviluppo complessivo di circa 260 m ed una sezione ovoidale vecchio inglese, con dimensioni 800x1200 mm. I lavori sono iniziati il 2 aprile 2024 e sono terminati il 14 giugno 2024, per un totale di 74 giorni naturali consecutivi.

Viale Monza costituisce una fondamentale arteria di collegamento tra Milano e la zona a Nord dell'hinterland, in particolare con le città di Cinisello Balsamo, Sesto San Giovanni e Monza, e, per questo motivo, è caratterizzato da elevati volumi di traffico, soprattutto nelle ore di punta del mattino, quando le persone si dirigono al luogo di lavoro, e del tardo pomeriggio, in cui le stesse rientrano nelle proprie abitazioni. Inoltre, la zona di intervento presenta un'alta densità abitativa, con molti condomini e passi carrabili residenziali e un elevato numero di attività commerciali presenti, ben 19 in soli 260 metri. La cantierizzazione è stata effettuata delimitando le aree attorno ai pozzetti presenti lungo il tracciato della condotta con delle barriere metalliche, in modo da non intralciare il passaggio dei mezzi in entrata e in uscita dalle residenze e occupare solo lo spazio di alcuni parcheggi a pagamento, lasciando liberi il marciapiede (occupato solo per 50 cm), la pista ciclabile e la corsia dei veicoli. Il risultato del calcolo dei costi indiretti è stato riportato in Figura 1.

		NO-DIG	OPEN-CUT	Δ	Δ%
Costo per maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente	C _{mtp}	11.086 €	22.472 €	-11.386 €	-50,7%
Costo maggiore del carburante o operativi	C _{mc}	10.239 €	20.755 €	-10.516 €	-50,7%
Costi terminali di viaggio	C _{pp}	9.963 €	43.586 €	-33.624 €	-77,1%
Costi perdita delle caratteristiche originarie della strada	C _{pco}	0 €	11.868 €	-11.868 €	-100,0%
Costi di interferenza con le infrastrutture stradali	C_i	31.288 €	98.682 €	-67.394 €	-68,3%
Diseconomie esterne (perdita di profitto delle attività economiche)	C _{de}	9.373 €	114.000 €	-104.627 €	-91,8%
Disagio generalizzato e interferenza con gli spazi residenziali	C _d	10.764 €	78.546 €	-67.782 €	-86,3%
Costi sociali	C_s	20.137 €	192.546 €	-172.409 €	-89,5%
Costo per inquinamento da polvere	C _{ip}	0 €	2.850 €	-2.850 €	-100,0%
Costo per inquinamento dell'aria (emissioni di CO ₂)	C _{ia}	3.840 €	7.813 €	-3.973 €	-50,9%
Costi ambientali	C_a	3.840 €	10.663 €	-6.823 €	-64,0%
COSTI INDIRETTI	C_{ind}	55.265 €	301.891 €	-246.626 €	-81,7%
COSTI DIRETTI	C_{dir}	505.683 €	413.471 €	92.212 €	22,3%
TOTALE	C_{tot}	55.265 €	304.741 €	-249.476 €	-81,9%

Figura 1 – Risultati del calcolo dei costi indiretti e totali per l'intervento eseguito a Milano, Viale Monza

È possibile notare come, per il cantiere di Milano, i costi sociali costituiscano la parte preponderante dei costi indiretti per quanto riguarda il cantiere *open-cut*. Ciò può essere spiegato dall'elevato numero di attività economiche presenti nella zona che sarebbero state notevolmente influenzate dal cantiere di scavo a cielo aperto, il quale avrebbe dovuto occupare tutti i parcheggi e parte del marciapiede davanti agli esercizi commerciali. Inoltre, è possibile riscontrare come, sebbene il costo diretto dell'intervento *no-dig* sia superiore a quello *open-cut*, se venissero sommati i costi indiretti dei cantieri a quelli diretti, il costo totale dell'intervento *no-dig* risulterebbe inferiore allo stesso intervento eseguito con tecnica *open-cut*.

4.2 Correzzana (MB), Via Principale

Il secondo progetto di rinnovamento prende in considerazione l'intervento realizzato nel Comune di Correzzana (MB), su un collettore in cemento armato, con tracciato lungo via Principale, compreso tra l'incrocio con via San Desiderio e quello con via Santa Eufemia. La condotta da risanare, in calcestruzzo, aveva uno sviluppo complessivo di circa 215 m, con sezione circolare DN600 mm per 170 m e sezione ovoidale vecchio inglese 600x900 mm per 45 m. I lavori sono iniziati il 1° luglio 2024 e sono terminati il 21 luglio 2024, per un totale di 21 giorni naturali consecutivi.

Via Principale è una strada di comunicazione che percorre tutto il Comune di Correzzana da Nord a Sud attraversando il nucleo più densamente abitato, a doppio senso di marcia e con discreti volumi di traffico durante l'intera giornata (anche di trasporto pubblico locale), che tuttavia non hanno interferito in maniera significativa con le lavorazioni previste, dal momento che la condotta è posizionata in corrispondenza della pista ciclopeditone a fregio della carreggiata stradale. Lungo Via Principale sono presenti solo due piccole attività commerciali. Il risultato del calcolo dei costi indiretti è stato riportato in Figura 2.

		NO-DIG	OPEN-CUT	Δ	Δ%
Costo per maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente	C _{mtp}	981 €	22.707 €	-21.726 €	-95,7%
Costo maggiore del carburante o operativi	C _{mc}	899 €	20.588 €	-19.688 €	-95,6%
Costi terminali di viaggio	C _{pp}	0 €	0 €	0 €	-
Costi perdita delle caratteristiche originarie della strada	C _{pco}	294 €	8.096 €	-7.802 €	-96,4%
Costi di interferenza con le infrastrutture stradali	C_i	2.174 €	51.391 €	-49.217 €	-95,8%
Diseconomie esterne (perdita di profitto delle attività economiche)	C _{de}	187 €	3.537 €	-3.350 €	-94,7%
Disagio generalizzato e interferenza con gli spazi residenziali	C _d	1.429 €	28.843 €	-27.414 €	-95,0%
Costi sociali	C_s	1.616 €	32.380 €	-30.764 €	-95,0%
Costo per inquinamento da polvere	C _{ip}	0 €	88 €	-88 €	-100,0%
Costo per inquinamento dell'aria (emissioni di CO ₂)	C _{ia}	2.061 €	4.858 €	-2.797 €	-57,6%
Costi ambientali	C_a	2.061 €	4.946 €	-2.886 €	-58,3%
COSTI INDIRETTI	C_{ind}	5.851 €	88.717 €	-82.866 €	-93,4%
COSTI DIRETTI	C_{dir}	245.000 €	240.496 €	4.504 €	1,9%
TOTALE	C_{tot}	250.851 €	329.213 €	-78.362 €	-23,8%

Figura 2 – Risultati del calcolo dei costi indiretti e totali per l'intervento eseguito a Correzzana

È possibile notare come, per l'intervento di Correzzana, la distribuzione dei costi indiretti sia pressoché equa per il cantiere *no-dig* e sbilanciata verso i costi di interferenza con l'infrastruttura stradale per il cantiere *open-cut*. Ciò è dovuto al fatto che l'intervento *open-cut* avrebbe rubato molto più spazio alla carreggiata stradale, interferendo maggiormente col traffico rispetto al cantiere *no-dig* che, invece, ha occupato solo la pista ciclopedonale. Inoltre, anche in questo caso, è possibile notare che, sebbene il costo diretto dell'intervento *no-dig* sia superiore a quello *open-cut*, se venissero sommati i costi indiretti dei cantieri a quelli diretti, il costo totale dell'intervento *no-dig* risulterebbe inferiore allo stesso intervento eseguito con tecnica *open-cut*.

4.3 Limena (PD), SS47 Valsugana

Il terzo intervento di rinnovamento oggetto di studio è consistito nel risanamento di una condotta fognaria in cemento amianto che corre parallelamente, sul lato Est, alla Strada Statale n° 47 della Valsugana, una delle vie principali del Comune di Limena (PD). In particolare, la tubazione esistente è posta tra Via Bocche e Via Montello e si trova in parte sotto Via del Santo e Via Roma, in parte in campagna e in parte sotto giardini e cortili di proprietà private, per uno sviluppo complessivo di circa 1220 m. La sezione della condotta è circolare ed ha diametro DN350 mm per 832 m e DN300 mm per 388 m. L'intervento ha avuto luogo tra il 24 giugno e il 14 settembre 2024, per un totale di 84 giorni naturali consecutivi.

La SS 47 che coincide, nel Comune di Limena, con Via del Santo e Via Roma, è una delle strade più importanti e trafficate del paese, a doppio senso di marcia a singola corsia, con una stima di undicimila veicoli transitanti ogni giorno. Il cantiere è stato posto sul bordo strada in corrispondenza dei pozzetti alle estremità dei tratti di condotta risanati, al fine di interferire il meno possibile con la circolazione. Lungo il tracciato sono presenti 35 attività commerciali. Il risultato del calcolo dei costi indiretti è stato riportato in Figura 3.

È possibile notare come, per il cantiere di Limena, i costi sociali e, in particolare, quelli di disagio generalizzato e interferenza con gli spazi residenziali, costituiscono la parte maggioritaria dei costi indiretti sia per l'intervento *no-dig*, sia per quello *open-cut*. Ciò può essere spiegato sia dalle rilevanti dimensioni di questo intervento (1220 m di lunghezza), sia dal passaggio della condotta, almeno in parte, sotto delle proprietà private. Peraltro, per l'intervento *open-cut* non era possibile immaginare di posare la nuova condotta su un nuovo tracciato, magari collocato sulla strada principale, poiché vi era la necessità di smaltire la condotta in cemento amianto e quindi di seguire il tracciato della tubazione esistente.

		NO-DIG	OPEN-CUT	Δ	Δ%
Costo per maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente	C _{mtp}	8.799 €	86.884 €	-78.085 €	-89,9%
Costo maggiore del carburante o operativi	C _{mc}	6.498 €	72.646 €	-66.148 €	-91,1%
Costi terminali di viaggio	C _{pp}	0 €	0 €	0 €	-
Costi perdita delle caratteristiche originarie della strada	C _{pco}	0 €	47.650 €	-47.650 €	-100,0%
Costi di interferenza con le infrastrutture stradali	C_i	15.297 €	207.179 €	-191.882 €	-92,6%
Diseconomie esterne (perdita di profitto delle attività economiche)	C _{de}	2.918 €	40.453 €	-37.536 €	-92,8%
Disagio generalizzato e interferenza con gli spazi residenziali	C _d	12.206 €	184.650 €	-172.444 €	-93,4%
Costi sociali	C_s	15.123 €	225.103 €	-209.980 €	-93,3%
Costo per inquinamento da polvere	C _{ip}	0 €	1.011 €	-1.011 €	-100,0%
Costo per inquinamento dell'aria (emissioni di CO ₂)	C _{ia}	3.506 €	20.699 €	-17.193 €	-83,1%
Costi ambientali	C_a	3.506 €	21.710 €	-18.204 €	-83,9%
COSTI INDIRETTI	C_{ind}	33.926 €	453.993 €	-420.067 €	-92,5%
COSTI DIRETTI	C_{dir}	611.000 €	1.280.078 €	-669.078 €	-52,3%
TOTALE	C_{tot}	644.926 €	1.734.071 €	-1.089.144 €	-62,8%

Figura 3 – Risultati del calcolo dei costi indiretti e totali per l'intervento eseguito a Limena

4.4 Torino, Via Vandalino

Il quarto ed ultimo intervento esaminato riguarda il rinnovamento di una condotta di acquedotto in calcestruzzo armato gettato in opera, di sezione circolare, diametro DN1000 mm e collocata in Via Vandalino, nella periferia Ovest del Comune di Torino, al confine con i Comuni di Collegno e Grugliasco. L'intero intervento ha interessato circa 2,2 km di rete, un tratto di lunghezza significativa caratterizzato, da Ovest verso Est, dalla presenza di un buon numero di attività economiche, di un istituto scolastico e di un attraversamento ferroviario. Rotech è risultata l'impresa esecutrice di una parte dell'intero progetto, avente lunghezza complessiva di circa 685 m, più precisamente nel tratto di Via Vandalino compreso tra gli incroci con Via Don Michele Rua e Via Macedonia. La durata dei lavori, iniziati il 4

dicembre 2023 e terminati al 14 maggio 2024, è stata particolarmente estesa poiché dettata dalle fasi preliminari e dalle esigenze di predisposizione dei siti. L'intervento e le attività nel tratto indicato hanno richiesto, complessivamente, 65 giorni naturali.

Via Vandalino è una parallela di Corso Francia, un'importante strada di collegamento tra Torino e i comuni ad Ovest della città, quali Collegno, Grugliasco e Rivoli. Tuttavia, nel tratto considerato, Via Vandalino è una via a senso unico e non presenta volumi di traffico elevati. Occorre sottolineare però che Via Vandalino si interseca con numerose strade ad essa trasversali e ciò avrebbe potuto provocare, in caso di scavi a cielo aperto, dei disagi alla viabilità che in questo calcolo sono stati trascurati. Il cantiere è stato posto sul bordo strada in corrispondenza degli scavi effettuati alle estremità dei tratti di condotta risanati, al fine di interferire il meno possibile con la circolazione. Lungo il tracciato sono presenti 35 attività commerciali. Il risultato del calcolo dei costi indiretti è stato riportato in Figura 4.

		NO-DIG	OPEN-CUT	Δ	Δ%
Costo per maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente	C _{mtp}	863 €	5.070 €	-4.207 €	-83,0%
Costo maggiore del carburante o operativi	C _{mc}	790 €	4.646 €	-3.856 €	-83,0%
Costi terminali di viaggio	C _{pp}	0 €	0 €	0 €	-
Costi perdita delle caratteristiche originarie della strada	C _{pco}	893 €	34.256 €	-33.363 €	-97,4%
Costi di interferenza con le infrastrutture stradali	C_i	2.546 €	43.972 €	-41.426 €	-94,2%
Diseconomie esterne (perdita di profitto delle attività economiche)	C _{de}	3.940 €	38.186 €	-34.246 €	-89,7%
Disagio generalizzato e interferenza con gli spazi residenziali	C _d	15.846 €	277.251 €	-261.404 €	-94,3%
Costi sociali	C_s	19.786 €	315.436 €	-295.650 €	-93,7%
Costo per inquinamento da polvere	C _{ip}	0 €	955 €	-955 €	-100,0%
Costo per inquinamento dell'aria (emissioni di CO ₂)	C _{ia}	8.604 €	35.924 €	-27.320 €	-76,0%
Costi ambientali	C_a	8.604 €	36.879 €	-28.275 €	-76,7%
COSTI INDIRETTI	C_{ind}	30.936 €	396.287 €	-365.351 €	-92,2%
COSTI DIRETTI	C_{dir}	1.090.000 €	1.627.309 €	-537.309 €	-33,0%
TOTALE	C_{tot}	1.120.936 €	2.023.597 €	-902.661 €	-44,6%

Figura 4 – Risultati del calcolo dei costi indiretti e totali per l'intervento eseguito a Torino, Via Vandalino

È possibile notare come, per il cantiere di Torino, i costi sociali e, in particolare, quelli di disagio generalizzato e interferenza con gli spazi residenziali, costituiscano la parte maggioritaria dei costi indiretti sia per l'intervento *no-dig*, sia per quello *open-cut*. Tre importanti fattori contribuiscono a questo risultato:

- le rilevanti dimensioni di questo intervento (685 m di lunghezza);
- il passaggio della condotta, almeno in parte, sotto delle proprietà private;
- l'elevato costo diretto dell'intervento *open-cut*, dovuto, principalmente, alle dimensioni della condotta in acciaio che avrebbe sostituito l'esistente (DN1000 mm) e dello scavo.

5. CONCLUSIONI

I risultati raggiunti con questo lavoro dimostrano, in primis, che non è possibile, per un intervento collocato in contesto urbano, trascurare o sottovalutare gli effetti negativi provocati da un cantiere. Infatti, attraverso l'utilizzo di un modello che consenta di quantificare gli impatti socio-ambientali mediante la loro monetizzazione in termini di "costi indiretti", è stato constatato che questi ultimi possono arrivare ad assumere valori significativi e dello stesso ordine di grandezza rispetto ai costi diretti connessi alla realizzazione stessa dell'opera.

Prendere coscienza di ciò rappresenta il primo passo verso un cambiamento dell'approccio nella scelta della tecnica da utilizzare per l'esecuzione dei lavori che, fino al giorno d'oggi, ha visto come fattore dominante quello della maggiore economicità. Perseguire una logica puramente economica non basta, mentre è necessario integrare gli aspetti di sostenibilità sociale ed ambientale.

Diventa, perciò, di fondamentale importanza, nell'ambito del rinnovamento del servizio idrico integrato, tenere in considerazione l'utilizzo di tecniche che minimizzino gli impatti socio-ambientali negativi del cantiere.

Come secondo risultato, lo studio svolto dimostra che attraverso l'adozione di tecnologie *no-dig* è possibile limitare gli effetti negativi dei cantieri urbani, grazie al loro minore impatto superficiale e alla ridotta durata che li caratterizza. Infatti, le tecnologie *trenchless* possono raggiungere lo stesso risultato finale delle tecniche per la nuova posa, ma con costi indiretti inferiori anche dell'**80÷95%**, in base alle condizioni al contorno che caratterizzano l'intervento. Ciò giustifica il fatto che le tecnologie *no-dig* siano annoverate anche come "tecnologie a basso impatto ambientale".

Tale riconoscimento viene confermato anche dall'incidenza dei costi indiretti sul totale, come si può vedere in Figura 5 dove si evince che:

- i costi indiretti del cantiere *no-dig* costituiscono il **2÷10%** del costo totale, mentre il restante 90÷98% è coperto dai costi diretti
- i costi indiretti del cantiere *open-cut* costituiscono il **20÷40%** del costo totale, mentre il restante 60÷80% è coperto dai costi diretti

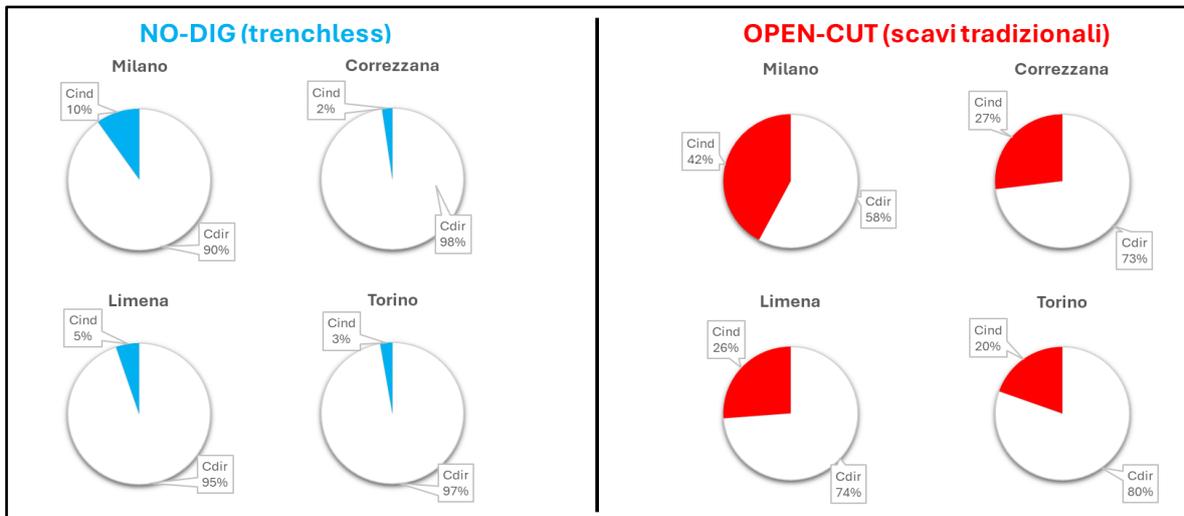


Figura 5 – Incidenza dei costi indiretti sul totale per gli interventi *no-dig* (in azzurro) e *open-cut* (in rosso)

6. REFERENZE

1. A. Gilchrist, E. N. Allouche, *Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review*, Tunneling and Underground Space Technology, 18 maggio 2004
2. J. C. Matthews, E. N. Allouche, *A social cost calculator for utility construction projects*, maggio 2010
3. J. C. Matthews, E. N. Allouche, Raymond L. Sterling, *Social cost impact assessment of pipeline infrastructure projects*, ottobre 2014
4. Renzo Chirulli, *Manuale di Tecnologie No-Dig – Le tecniche e le metodologie di progetto e di calcolo*, no-dig.it Srl, 2011
5. R. Chirulli, A. Caruso, *Un modello di analisi tecnico-economica nel confronto tra directional drilling e scavo a cielo aperto*
6. Steve Apeldoorn, *Comparing the costs – Trenchless versus traditional methods*