Un modello di analisi tecnico-economica nel confronto tra directional drilling e scavo a cielo aperto.

Renzo Chirulli, Antonio Caruso.

Sommario

Nella posa e manutenzione di sottoservizi, il confronto tra tecnologia tradizionale con scavo a cielo aperto (open-cut) e la nuova tecnologia del directional drilling dimostra quanto e perchè quest'ultima sia notevolmente più conveniente di quella tradizionale, e di come essa consenta l'abbattimento di una serie di impatti che la collettività considera ormai come incompatibili con l'ambiente in cui essa svolge le proprie attività (abitative, economiche, di spostamento, ecc.)

Il modello di valutazione tecnico-economica proposto consente di attuare un confronto tra le due tecnologie alternative, basato su un'ampia base di grandezze e di procedure, che permettono di considerare effetti della cantierizzazione altrimenti non valutati.

Questo modello, opportunamente integrato con con la Valutazione di Impatto Ambientale comparativa, costituisce un efficace strumento di analisi qualitativa e quantitativa, a disposizione di quanti (amministratori, politici, responsabili di enti, tecnici, ecc.) hanno responsabilità nei processi decisionali e progettuali che attengono alla scelta delle modalità esecutive di costruzione e manutenzione di sottoservizi interrati.

1. Le metodologie di analisi.

Nel settore della costruzione e manutenzione delle reti tecnologiche interrate o servizi interrati o semplicemente sottoservizi (quali reti idriche, fognature, reti di distribuzione del gas, reti di distribuzione dell'energia elettrica, reti di telecomunicazione, ecc.) lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie No-Dig rappresenta una novità non soltanto sul piano strettamente tecnologico, ma anche, e forse soprattutto, sul piano del differente impatto che queste tecnologie comportano, durante le fasi esecutive (costruttive o manutentive), sulla collettività: in sostanza sul complesso dei costi e dei benefici percepiti dalla collettività che si generano durante le fasi di costruzione e/o di manutenzione dell'opera.

Nel bilancio economico complessivo relativo ad una data opera, si tratta di costi e di benefici che, generandosi ed estinguendosi in periodi (fasi costruttive o manutentive) in genere di durata molto ridotta (se confrontati al periodo di vita utile dell'opera stessa) vengono generalmente trascurati nel bilancio attinente a quella data opera.

In realtà dal punto di vista della collettività, con riguardo ai sottoservizi, la frequenza degli interventi costruttivi e manutentivi, che hanno luogo negli spazi collettivi (urbani ed extraurbani) è tale da portare i costi ed i benefici generati nelle fasi strettamente esecutive ad un livello comparabile a quello dei costi e dei benefici percepiti dalla collettività per l'esistenza dei sottoservizi stessi.

La privatizzazione e la liberalizzazione del mercato delle attività di concessione di sottoservizi porta inoltre ad una traslazione del punto di vista valutativo, dei costi e benefici, verso quello tipicamente del mercato dei prodotti, in cui gli effetti positivi (benefici) e negativi (costi) sul pubblico (inteso come l'insieme degli individui che compongono la collettività), divengono rilevanti nella scelta delle politiche che le aziende concessionarie decidono di perseguire.

A causa del processo di privatizzazione si sposta però anche il punto di vista della Pubblica Amministrazione ed in generale dell'insieme dei proprietari dei suoli, che manifestano un'attenzione particolare verso la gestione del suolo e del sottosuolo, con un conseguente maggiore controllo della compatibilità degli interventi operati in concessione con le attività (abitative, economiche e di spostamento) che hanno luogo in superficie nonché con le risorse ambientali presenti, anche con riferimento a quelle tipicamente rinvenibili nel sottosuolo (ipogei, siti archeologici, ecc.). Si capisce immediatamente come, sotto tale aspetto, i costi ed i benefici che caratterizzano le differenti tecnologie impiegate nelle fasi esecutive (costruzione o manutenzione) diventino di estrema rilevanza nel problema di scelta tra differenti alternative disponibili.

In altri termini il costo di costruzione inteso come il controvalore delle risorse strettamente occorrenti per la realizzazione dell'opera stessa (materiali, lavorazioni, servizi, canoni, concessioni), diviene un elemento di valutazione che ha rilevanza soprattutto per chi realizza l'opera (concessionari) mentre gli altri costi (costi sociali e di impatto ambientale) hanno rilevanza per la collettività in quanto l'opera interessa, per la sua realizzazione o manutenzione, spazi collettivi.

L'oggetto di tali valutazioni è rappresentato però da servizi che non a caso la tradizione urbanistica definisce *primari* e che da un punto di vista consolidato vengono considerati, assieme alle infrastrutture di trasporto, come il tessuto connettivo e funzionale fondamentale per lo sviluppo delle attività abitative ed economiche di un territorio.

Questo significa che sebbene la privatizzazione possa indurre a scindere le valutazioni secondo due o più punti di vista differenti (il concessionario, la collettività, ecc.) e apparentemente discordanti negli obiettivi economici, in realtà, data la natura dei servizi che i concessionari di reti gestiscono, i punti di vista vanno identificati attraverso la definizione di una metodologia di analisi tecnico-economica che unifichi ed accorpi le valutazioni conferendo il giusto peso ad entrambe le esigenze, dato che in un rapporto di gestione-fruizione di un servizio, un concessionario che attiva delle diseconomie interne a causa di elevati costi diretti sopportati non è in grado di fornire un servizio efficiente e viceversa un collettività che sopporta costi maggiori dei benefici che riceve dalla fruizione di un servizio non è in grado di fruire di quel servizio a causa delle diseconomie esterne che si attivano.

Il meccanismo di domanda-offerta del rapporto gestione-fruizione di servizi è in realtà caratterizzato da strette interconnessioni legate al fatto che le due attività chiamano in causa risorse comuni ai due insiemi di soggetti economici.

La definizione di un modello di valutazione dei costi e dei benefici connessi con le fasi esecutive (costruzione o manutenzione) di un sottoservizio deve tener allora conto, nell'opinione degli autori della presente, in maniera esaustiva delle implicazioni che le interferenze, che si instaurano tra cantieri costruttivi o manutentivi e spazi collettivi, generano nel loro complesso.

2. Tecnologie Esecutive disponibili.

Le tecnologie esecutive disponibili tra le quali verrà operato il confronto tecnico-economico sono due:

- scavo a cielo aperto;
- directional drilling.

2.1. La tecnologia open-cut.

La tecnologia di intervento con scavo a cielo aperto, che nel seguito verrà indicata brevemente come **tecnologia open-cut**, rappresenta la tecnologia esecutiva tradizionale per molti paesi, tra cui l'Italia.

Questa tecnologia esecutiva si articola generalmente nelle seguenti principali fasi:

- delimitazione dell'intera area di intervento con interdizione della circolazione e della sosta di veicoli e pedoni;
- demolizione delle sovrastrutture esistenti (pavimentazioni stradali, pedonali, ecc.);
- scavo di trincea sino alla profondità operativa;
- esecuzione delle operazioni di posa in opera o di manutenzione;
- rinterro e parziale (nel caso di pavimentazioni stradali) o totale ripristino delle sovrastrutture;
- assestamento dei rinterri;
- ripristino definitivo della sovrastruttura.

2.2. Directional drilling.

Questa tecnologia si articola nelle seguenti fasi principali:

- indagini preliminari con mappatura del sottosuolo (georadar)
- delimitazione di aree marginali di limitatissima estensione (< 6÷8 % dell'area interessata dall'intervento);
- realizzazione del foro pilota nel sottosuolo (costruzione) o del lancio pilota nella condotta/cavidotto (manutenzione);
- esecuzione del cavidotto definitivo o della sostituzione definitiva.

Questa tecnologia non comportando alcuno scavo non necessita della demolizione delle sovrastrutture esistenti.

3. Effetti della cantierizzazione.

3.1. Costo generalizzato.

Gli effetti della cantierizzazione sono in generale rappresentati da costi.

La grandezza che esprime l'ammontare complessivo dei costi generati prende il nome di costo generalizzato, ad indicare che alcune voci di costo componenti vengono espresse attraverso meccanismi valutativi diversi da quello semplice di computo-stima basato su l'uso di elenchi prezzi unitari.

Le principali componenti del costo generalizzato sono le seguenti:

- costi di costruzione;
- costi generati da interferenze con infrastrutture di trasporto;
- costi sociali;
- costi di rischio;
- costi di impatto ambientale.

3.1.1. Costi di costruzione.

I costi di costruzione sono rappresentati dall'ammontare complessivo delle risorse occorrenti per la

realizzazione dell'intervento costruttivo o manutentivo in termini di:

- materiali:
- mezzi d'opera;
- lavorazioni;
- canoni;
- · concessioni.

Questi costi sono valutati attraverso le classiche operazioni di computo e stima basate sull'uso di elenchi prezzi espressi dagli enti appaltanti.

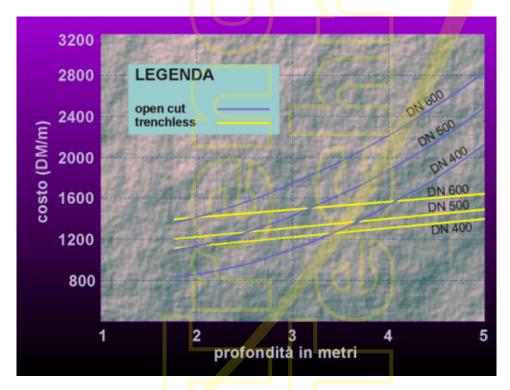
Va sottolineato che esiste una forte variabilità dei prezzi unitari espressi in differenti elenchi prezzi. Occorre quindi che le valutazioni siano operate con stretto riferimento ai prezzi di mercato esistenti in quel particolare settore ed in quella particolare area territoriale.

Il costo totale di costruzione CT_c andrà quindi espresso in forma di costo unitario complessivo di costruzione (che chiameremo semplicemente costo di costruzione C_c). Il criterio più semplice che si ritiene applicabile nel caso dei sottoservizi, è quello di esprimere il costo di costruzione come rapporto tra il costo totale di costruzione CT_c (espresso in unità monetarie: U.M.) e la lunghezza L (espressa in metri) del sottoservizio costruito o oggetto di manutenzione:

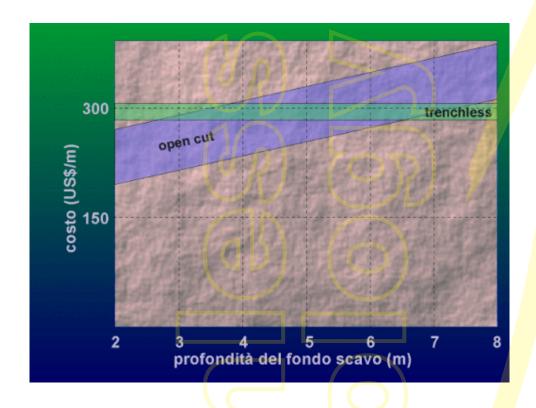
$$C_c = \frac{CT_c}{L}$$

espresso in U.M./m (es. lire/m)

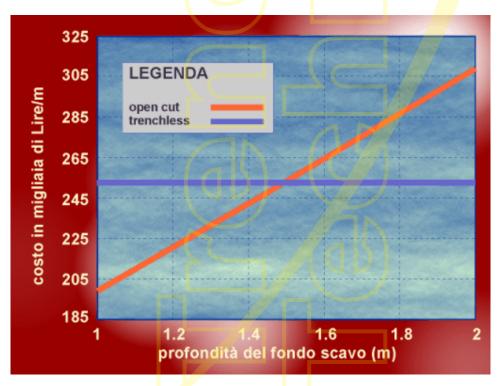
A livello esemplificativo si riportano tre diagrammi che esprimono un confronto diretto operato tra costi di costruzione relativi a tecnologia open-cut e costi di costruzione relativi a tecnologie No-Dig. Il primo diagramma è desunto da uno studio (*Mohring*, 1987) realizzato per lavori effettuati in Germania per la posa di condotte di medio diametro:



Il secondo è il risultato di uno studio svolto dal Minnesota Department of Transportation (*Sterling R.L.*, 1994), ed è relativo ad un confronto operato tra tecnologia open cut e tecnologia trenchless nel settore fognature.



Infine il terzo diagramma è il risultato di una applicazione svolta dagli autori della presente con riferimento alla posa in opera di cavi per telecomunicazione. In particolare è stato esaminato il caso della posa di un pacco tubi composto da un cavidotto da 125 mm di diametro più cinque cavidotti da 63 mm di diametro. I prezzi utilizzati per le stime sono quelli effettivamente pagati ad imprese della Provincia di Bari, per l'esecuzione di questo tipo di opere.

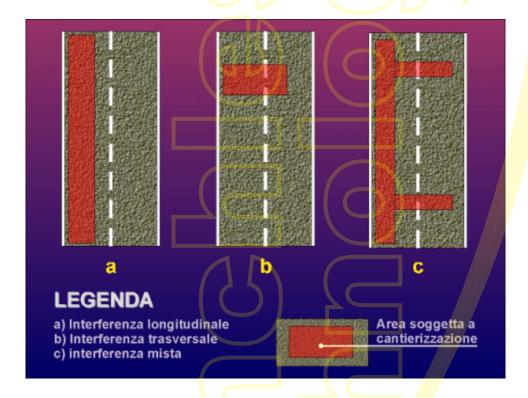


3.1.2. Costi generati dalle interferenze con infrastrutture di trasporto

I Costi generati dalle interferenze con infrastrutture di trasporto, sono quelli che scaturiscono allorquando la cantierizzazione per la posa di un sottoservizio occupa in parte o in toto la piattaforma viaria.

In funzione della loro configurazione geometrica le interferenze possono essere di tre tipi:

- parallele
- trasversali
- miste



Si ha una *interferenza parallela* quando il cantiere presenta uno sviluppo prevalentemente monodimensionale e parallelo all'infrastruttura di trasporto, senza mai causare la completa interruzione del traffico che su di essa si svolge.

Si ha una *interferenza trasversale* quando invece il cantiere si sviluppa trasversalmente all'infrastruttura di trasporto potendo anche causare una interruzione totale del traffico che su di essa si svolge. Un'*interferenza mista* si ha infine quando il cantiere presenta contemporaneamente tratti paralleli e tratti trasversali all'infrastruttura di trasporto, potendo anche causare una interruzione totale del traffico che su di essa si svolge.

Un tipico esempio di interferenza parallela è quella che si genera per la posa di un acquedotto al di sotto della sovrastruttura di una strada. La condotta segue parallelamente l'andamento della infrastruttura viaria ed il cantiere impegna una parte della carreggiata per una lunghezza consistente. Con lo stesso esempio avremmo invece una interferenza trasversale quando l'acquedotto intersecherà trasversalmente la strada. Il cantiere potrà allora impegnare parte o tutta la carreggiata. L'interferenza mista si verifica nell'esempio citato, quando oltre alla condotta principale occorre porre in opera anche i rami di allaccio utenza.

Il costo di interferenza con l'infrastruttura di trasporto si compone di una serie di addendi, quali:

1) costo del maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente;

- 2) maggiore costo di carburante sopportato dall'utente
- 3) costi terminali di viaggio aggiuntivi
- 4) costo sociale degli incidenti
- 5) costo per l'eventuale perdita delle caratteristiche originarie della infrastruttura viaria
- 6) disconfort di viaggio sopportato dall'utente

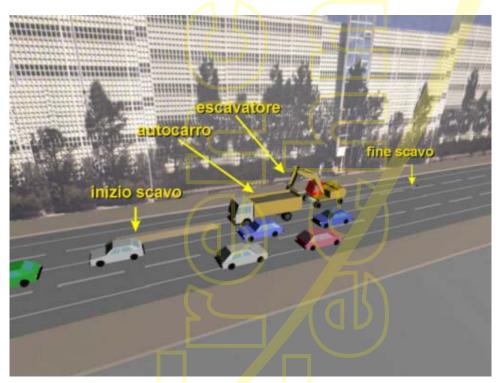
Esaminiamo nel dettaglio ciascuna delle voci appena elencate.

3.1.2.1. Maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente.

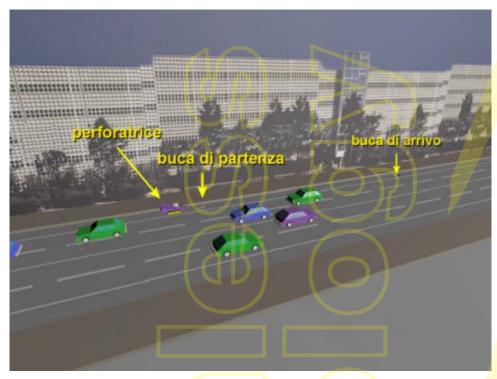
Il maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente (proprietario, conducente o passeggero del mezzo di trasporto) si identifica con il perditempo causato dalle minori portate che l'infrastruttura, interessata dalla cantierizzazione, è in grado di consentire, o dal tempo aggiuntivo necessario per percorrere itinerari alternativi, al fine di superare l'interferenza causata dal cantiere.

La geometria del cantiere in termini di forma, dimensioni e collocazione rispetto all'infrastruttura interessata, nonché la durata della cantierizzazione hanno una rilevanza fondamentale per la definizione di questa voce di costo.

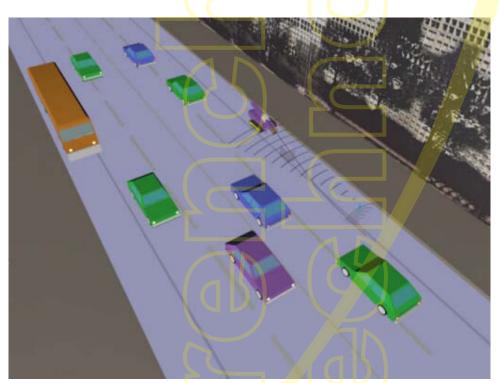
La tecnologia open-cut, prevedendo lo scavo di una trincea per una lunghezza pari a quella dell'intervento da operare, rende indisponibile (a differenza della tecnologia con directional drilling) sia per la circolazione che per la eventuale sosta, gran parte della infrastruttura viaria. Se inoltre l'interferenza è di tipo trasversale o misto con interruzione totale del traffico è evidente che questa voce di costo, raggiunge il suo massimo.



Cantiere tipo open-cut, su infrastruttura stradale.



Cantiere tipo con directional drilling, su infrastruttura stradale.



Cantiere tipo con directional drilling, su infrastruttura stradale.

Parlando genericamente di infrastrutture di trasporto, l'interferenza causata dalla presenza di un cantiere può essere quantificata secondo metodologie di calcolo molto diverse a seconda dell'infrastruttura considerata.

Per le linee ferroviarie infatti, ove il traffico è strettamente regolamentato e controllato, il perditempo causato dall'interferenza è facilmente calcolabile in funzione o del rallentamento a cui i convogli

vengono assoggettati in corrispondenza dell'area di cantiere oppure in funzione del ritardo causato da una interruzione temporanea del traffico su un dato tronco.

Nel caso di una pista aeroportuale, per ragioni di sicurezza, non si ammettono interferenze salvo il caso in cui queste non impegnino in alcun modo la piattaforma destinata agli aeromobili, né comportino un decadimento temporaneo della capacità portante della piattaforma stessa. Se tali condizioni non si realizzano e l'intervento è necessario si rende temporaneamente indisponibile la pista stessa, con ovvie ricadute di costo per il mancato o dirottato traffico aereo, anche qui facilmente calcolabile noti gli orari di volo, il traffico medio (passeggeri/merci) ed il costo aggiuntivo di trasporto collettivo/merci da terminali differenti di arrivo/partenza verso/da quello impegnato.

Nel caso certamente più frequente di **interferenza con infrastrutture stradali**, una netta suddivisione va operata tra strade urbane e strade extraurbane; e più in generale tra tronchi stradali a forte ed a bassa interconnessione sulle brevissime distanze.

La differenza consiste nel fatto che passando dalle strade extraurbane di grande comunicazione alle strade urbane, ed aumentando l'interconnessione sulle brevissime distanze della rete di trasporto stradale, aumenta nel contempo l'offerta di percorsi alternativi con distanza generalizzata comparabile a quella del percorso temporaneamente indisponibile o affetto da minore portata, con un conseguente rilevante aumento dell'effetto che la riduzione o l'annullamento di portata su un dato tronco ha sui tronchi della rete a questo interconnessi.

Comprensibilmente aumenta la difficoltà di formulare un modello previsionale che possa aiutare nella stima del costo di interferenza con l'infrastruttura stradale, quando si passa dalle strade extraurbane di grande comunicazione alle strade urbane.

Mentre per le strade extraurbane di grande comunicazione esistono una innumerevole serie di studi e di metodologie di analisi in grado di permettere un calcolo attendibile dell'influenza che parzializzazioni della carreggiata hanno sulle portate effettive della strada, basate su considerazioni di carattere prettamente geometrico e cinematico, nel caso delle strade di minore rilevanza o appartenenti ad una rete stradale urbana, di ausilio potrebbero essere *modelli distributivi del traffico* basati su funzioni di impedenza, per la caratterizzazione dei singoli tronchi componenti, che tengano conto delle velocità medie possibili in funzione delle condizioni temporanee della carreggiata (stato di occupazione, stato del manto, presenza di ostacoli, ecc.).

É però evidente che un simile approccio, per quanto rigoroso ed auspicabile, risulti di difficoltosa applicazione per il numero di variabili da tenere in conto e per la complessità del grafo che rappresenti dettagliatamente la rete.

In alternativa ai modelli distributivi, che però risultano essere insostituibili nel caso di interruzioni totali del traffico su un dato tronco, potrebbero essere utilizzati *modelli imitativi* basati su osservazioni sperimentali quantitative effettuate su tronchi stradali aventi caratteristiche similari a quello in esame e soggetti a cantierizzazioni simili.

Purtroppo, per quanto interessante e semplificativa possa risultare questa metodologia, non sono disponibili, in letteratura, dati sufficienti a consentirne una sua pratica applicazione.

Ecco perché, a giudizio degli autori della presente, si è ritenuto opportuno proporre una metodologia semplificata per il calcolo dell'influenza che le cantierizzazioni esercitano sulla portata di strade urbane basato su considerazioni di carattere geometrico e cinematico.

A questo scopo l'area urbana, e quindi la rete stradale, è stata suddivisa in tre zone caratterizzate da differenti velocità veicolari medie:

zona	centro	semicentro	periferia
velocità media km/h	10	25	40
Qs portata di saturaz. (veicoli / h)	1144	1391	1268
fa= portata reale max. portata di saturaz.	1÷0.9	0.65÷0.5	0.4÷0.3
$Q_{s} = \frac{3600v}{d_{1} + vt + \frac{v^{2}}{2v} + \frac{v^{2}}{2v}}$	d1= lungh t = tempo	ità della corrente ve nezza del veicolo = 4 psicotecnico = 1 s erazione media = 4	4 m

La portata di saturazione Qs di una corsia è stata calcolata ipotizzando una corrente veicolare costituita da automezzi tutti identici egualmente distanziati e con conducenti che manifestano tempi psicotecnici identici.

Si tratta dell'approccio più classico per la definizione della capacità teorica di strade extraurbane. Tuttavia un conforto al dato di base può essere costituito dalle esperienze sviluppate in altri paesi e relative al calcolo delle intersezioni semaforizzate. In particolare la capacità per corsia viene calcolata in genere in funzione della larghezza dell'accesso all'intersezione, e quindi con formule del tipo:

$$Q = K \times d$$

essendo K una costante e d la larghezza dell'accesso all'intersezione in m.

La costante **K** varia assumendo valori che sono nell'ordine di **525** (per inciso con corsie pari a 2.7 m si ottiene Q=1418 veic./h).

I valori di portata calcolati con le ipotesi di flusso teorico ininterrotto prima esposte, sembrano essere non troppo diversi da quelli che realmente possono svolgersi in condizioni di saturazione su una data sezione stradale urbana.

Va ovviamente considerato che la portata reale massima Qm che si verifica su una sezione di deflusso stradale non è funzione solo della geometria della strada e della velocità media dei veicoli, ma anche delle motivazioni di viaggio, dalla zona in cui la strada è situata, ecc.

La portata reale, per una data sezione stradale, oltretutto potrà variare nell'arco della giornata da zero al valore massimo.

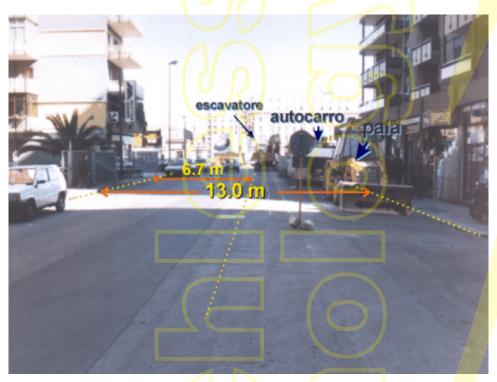
Questa variabilità induce all'introduzione di una serie di coefficienti correttivi che tengano conto almeno dei principali fattori che influenzano la portata reale massima.

Il coefficiente fa, mostrato nella tabella precedente, tiene conto della zona nella quale la strada stessa è situata (centro, semicentro o periferia). Questo coefficiente moltiplicato per la portata di saturazione Qs fornisce la portata reale massima Qm per corsia, della sezione di deflusso.

I campi di escursione proposti, per tali coefficienti sono stati desunti da rilievi diretti effettuati dagli autori della presente su alcune strade urbane dotate di caratteristiche rispondenti a quelle indicate.

La presenza di un ostacolo in carreggiata equivale ad una parzializzazione della sezione di deflusso, che, specie in ambito urbano, può significare, in funzione della larghezza impegnata, la soppressione di una o più corsie di marcia, con il risultato di generare un istantaneo decadimento della portata della

strada dovuto in parte al rallentamento (diminuzione della velocità media della corrente) prodotto dalla maggiore vicinanza di un ostacolo laterale ed in parte dalla necessità di operare manovre di scambio e immissione da una corrente veicolare ad un'altra causate dal restringimento della sezione di deflusso in corrispondenza dell'ostacolo in carreggiata.



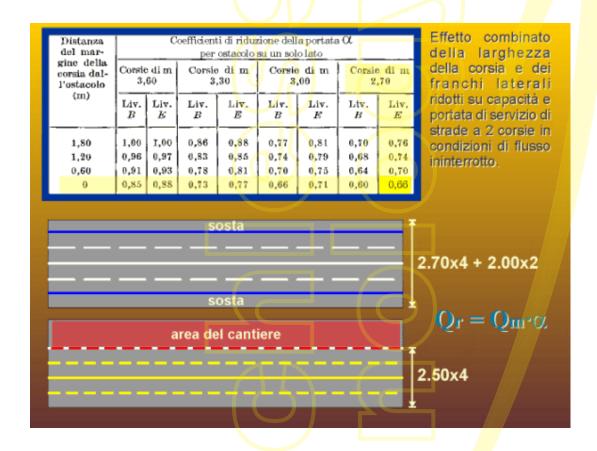
Parzializzazione tipica della carreggiata provocata dalla presenza di un cantiere open-cut.



Interferenza tra un cantiere open-cut e percorsi veicolari e pedonali.

Certamente, in presenza di basse percentuali di traffico pesante e quindi di veicoli aventi sagome di ingombro prossime a quella limite, la marcia per file parallele può continuare ad aver luogo anche in presenza di sezioni di deflusso aventi larghezza pari a multipli di 2.5 m (larghezza della sagoma limite), con ovvie riduzioni della velocità media di deflusso.

Le conseguenti riduzioni di portata possono essere determinate utilizzando coefficienti riduttivi fo come quelli espressi per calcolare la riduzione di portata causata alla presenza di ostacoli laterali. Questo genere di coefficienti sono espressi, nella letteratura classica, per numerose e differenti casistiche al variare della tipologia di strada, della larghezza delle corsie, della distanza di ostacoli laterali. La figura seguente chiarisce quanto appena esposto.



Con **Q**r si è indicato il valore della portata di saturazione ridotta, pari al prodotto tra la portata reale massima **Q**m moltiplicata per il coefficiente riduttivo fb riportato nella tabella; questa portata è la massima che la sezione del restringimento (zona di interferenza) può smaltire.

Come appena visto la presenza di una riduzione di carreggiata porta ad una conseguente diminuzione della portata per corsia che da Qm passa a Qr.

Come è noto, sulla scorta di innumerevoli osservazioni svolte, il rapporto tra Tmga (traffico medio giornaliero annuo) e portata massima, per strade urbane, varia in un intervallo compreso tra 0.11÷0.19. Determinato Tmga a partire da n·Qm (essendo n il numero di corsie per senso di marcia) è possibile calcolare una portata media equivalente Qme che esprime appunto il valore della portata mediata lungo l'arco delle 24 ore.

In altri termini risulta:

$$\mathbf{Q}_{\text{me}} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{Q}_{\text{m}} \quad (\text{con } \mathbf{k} = 0.22 \div 0.38)$$

Sia \mathbf{n} r il numero di corsie residue in presenza dell'interferenza (sarà sempre \mathbf{n} r < 0 = \mathbf{n}).

Se risulta $Q_{\text{me}} < n_r \cdot Q_r$, secondo la teoria delle code il tempo medio di attesa può essere calcolato come il reciproco della portata Q_{me} ovvero:

$$ta = 1/Qme$$
 (ora/veicolo)

In questo caso le portate possono essere riviste come frequenze e quindi Qme rappresenterebbe la

frequenza degli arrivi mentre $\mathbf{n}_r \cdot \mathbf{Q}_r$ la frequenza con cui i veicoli attraversano la sezione di deflusso ristretta.

Se invece si ha $Q_{me} > n_r \cdot Q_r$, allora il tempo di attesa e la lunghezza della coda crescerebbero indefinitamente.

In realtà sebbene in ambito urbano si verifichi (ed anche con una certa frequenza) che Qme sia maggiore di nr ·Qr, la coda che necessariamente si origina tende ad assumere una lunghezza limite che indicheremo con Llim.

Oltre un certo numero di veicoli, quelli ulteriori che sopraggiungono difficilmente si mettono in attesa, contribuendo ad accrescere la lunghezza della coda, in quanto scelgono di percorrere, grazie all'alta l'interconnessione che caratterizza generalmente le reti stradali urbane, itinerari alternativi.

La coda, una volta raggiunta la sua lunghezza limite, conterrà un numero medio di veicoli dato dal rapporto tra la sua lunghezza e la distanza media tra i baricentri dei veicoli stessi, che con la simbologia fin qui usata è data dalla somma della lunghezza d1 del veicolo medio e del franco di sicurezza d4 (stiamo considerando i veicoli praticamente fermi):

$$Nvc = Llim/(d1+d4)$$

Al tempo t=0 il primo veicolo della coda attraverserà la sezione di entrata, del restringimento (zona di interferenza), il veicolo che al tempo t=0 è invece l'ultimo della coda attraverserà la medesima sezione dopo un intervallo pari a:

$$2\mathbf{t}a = \mathbf{N}vc / \mathbf{n}r \cdot \mathbf{Q}r$$

con ta tempo medio di attesa in coda, che esplicitato diviene:

$$\mathbf{t}a = \mathbf{N}vc / \mathbf{2nr} \cdot \mathbf{Qr}$$

Una volta che il generico veicolo ha superato la sezione di entrata del restringimento attraverserà la zona di interferenza in un tempo che chiamiamo tatr, dipendente dalla velocitàdi deflusso v con la quale esso procede. Il valore che tale velocità di deflusso può assumere è funzione della portata di saturazione ridotta Qr:

$$v = \gamma \left(\frac{3600}{Q_r} - t\right) - \sqrt{\left[\gamma \left(\frac{3600}{Q_r} - t\right)\right]^2 - 2\gamma (d_1 + d_4)}$$

per cui nota v si calcola tatr:

$$tatr = L/v$$

con L = lunghezza media del cantiere.

Va notato che v (così come calcolata) rappresenta la velocità alla quale si realizza la massima portata di deflusso per la sezione di restringimento.

In realtà le portate reali di deflusso saranno sempre minori di **Q**r e quindi l'ipotesi appena fatta porta ad una sottostima del perditempo totale di attraversamento.

Noti ta e tatr si calcola il perditempo complessivo per veicolo causato dall'interferenza:

$$\mathbf{t}$$
ic = \mathbf{t} a + \mathbf{t} atr

Se tc indica la durata della cantierizzazione, il numero di veicoli che saranno affetti dal perditempo tic sarà allora dato da:

All rights reserved by Renzo Chirulli

 $N_v = Q_{\text{me}} t_c \text{ se } Q_{\text{me}} < n_r Q_r$

 $N_v = n_r Q_r t_c \text{ se } Q_{me} > n_r Q_r$

Il prodotto:

$$\mathbf{r}_{t} = \mathbf{N}_{v} \mathbf{t}_{ic}$$

rappresenta il perditempo totale dovuto alla cantierizzazione.

Naturalmente poiché tic tende ad infinito per Qr tendente a zero, questa metodologia non è applicabile nel caso di interferenze trasversali o miste che comportino la totale interruzione del traffico. In questi casi andrà valutato il maggior tempo che gli utenti sono costretti ad impiegare per percorrere itinerari alternativi, attraverso l'uso di modelli distributivi.

Moltiplicando Tt per il valore monetario medio aggregato dell'unità di tempo Vamt, si ottiene il costo del maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente Cmtp, per senso di marcia.

$$C_{ extbf{mtp}} = V_{ extbf{amt}} \cdot Tt$$

Il valore monetario medio aggregato dell'unità di tempo rappresenta la riduzione, per unità di tempo, che si verifica nella produzione di beni e servizi per effetto del perditempo, avendo considerato parte degli utenti della strada (in genere 1/3 o 1/4 del totale di essi) quali produttori attuali di beni e servizi. Questo valore viene calcolato da molti autori sulla base del salario medio mensile. Gli autori della presente propongono di calcolare tale valore sulla base del reddito medio netto delle famiglie Italiane \mathbf{R}_{mn} (lire/mese); in particolare:

$$V_{amt} = \frac{R_{mn}}{4} \cdot \frac{1}{10560}$$
(lire/min)

essendo 10560 i minuti lavorati mediamente in un mese.

In particolare **R**mn = 3.670.000 lire/famiglia (*dato medio Italia - fonte ISTAT 1996*), mentre si considera che solo 1/4 degli utenti della strada, interessati dal perditempo, non produca, in tale intervallo, beni o servizi.

Con queste ipotesi si ha:

 $V_{amt} = 86.9 lire/min$

Secondo alcuni autori (*Boyce e Bried - U.S.A.-1994*) questo valore oscilla da **0.08 a 0.11 \$/min** (141.6÷194.7 lire/min)

In realtà, nel caso in cui **Q**me > **n**r **Q**r, la metodologia proposta porta a sottostimare il costo complessivo in quanto non tiene conto dei perditempo, e quindi dei rispettivi costi monetari, sopportati dagli utenti che scelgono di percorrere un itinerario alternativo non andando ad alimentare ulteriormente la coda.

3.1.2.2. Maggiore costo di carburante sopportato dall'utente.

Per attraversare l'interferenza o per percorrere itinerari alternativi l'utente deve mantenere il veicolo in moto o in movimento per un tempo maggiore.

Il carburante aggiuntivo, complessivamente impiegato a causa dell'interferenza, determina questa voce di costo.

Limitandoci ad esporre il caso dell'attraversamento sviluppato nel paragrafo precedente, il costo del carburante sarà proporzionale, per ciascun veicolo, al tempo di funzionamento (si considerano bassi regimi), alla potenza motore media impiegata pm (KW) ed al consumo medio specifico cs (g/KWh).

Se **p**c indica il prezzo medio di un grammo di carburante, il costo per una durata unitaria di funzionamento, sarà pari a:

Ccs=cs pm pc/60 espresso in: unità monetarie/unità di tempo

Il maggiore costo complessivo di carburante Cmc sostenuto dagli utenti sarà pari a:

$$\mathbf{C}_{\mathrm{mc}} = \mathbf{N}_{\mathrm{v}} \cdot \mathbf{t}_{\mathrm{ic}} \cdot \mathbf{c}_{\mathrm{cs}}$$

Come nel caso precedente quando Qme > nr Qr, la metodologia proposta porta a sottostimare il costo complessivo Cmc in quanto non tiene conto degli utenti che scelgono di percorrere un itinerario alternativo non andando ad alimentare ulteriormente la coda.

3.1.2.3. Costi terminali di viaggio aggiuntivi.

Si tratta dei costi che, nel caso delle infrastrutture stradali urbane, gli utenti devono sopportare a causa del parcheggio temporaneamente non disponibile a causa dell'interferenza. Questo costo si calcola a partire dall'area di occupazione del cantiere.

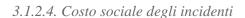
Se L rappresenta la lunghezza complessiva del cantiere ed L' quella sottratta temporaneamente al parcheggio, detto Ls la lunghezza media di uno stallo si ottiene che il numero di parcheggi sottratti dal cantiere è pari a:

$$n_p = L'/L_s$$
 (con n_p numero intero)

Se il costo orario medio di parcheggio nella zona è pari a **c**op, considerando che parte degli stalli saranno reperiti dagli utenti in strade adiacenti a costo zero e parte (**p%**<100%) in autorimesse con costo orario **c**op, detto **t**c il tempo di cantierizzazione, il complesso dei costi terminali di viaggio aggiuntivi **C**tv, sarà dato da:

$$\mathbf{C}_{\mathsf{tv}} = \mathbf{n}_{\mathsf{p}} \cdot \mathbf{p} \% \cdot \mathbf{c}_{\mathsf{op}} \cdot_{\mathsf{tc}}$$

A rigore nel complesso dei costi terminali di viaggio aggiuntivi, andrebbero considerati anche i costi generati dalla temporanea indisponibilità di aree di fermata di mezzi pubblici. In particolare si ritiene opportuno valutare anche questa ulteriore voce di costo ogni qual volta l'interferenza interessi aree particolari quali terminal urbani per bus e taxi.



Il minore livello di servizio che si genera nell'infrastruttura stradale a causa dell'interferenza può essere causa di una maggiore incidentalità soprattutto tra veicoli che procedono nello stesso senso di marcia (tamponamento).

Il costo sociale degli incidenti stradali si compone di una serie di addendi, quali:

- la riduzione che si verifica nella produzione di beni e servizi per effetto dei decessi, delle invalidità permanenti o temporanee delle persone coinvolte negli infortuni stradali considerando queste quali produttori attuali e futuri di beni e servizi;
- i danni arrecati alle cose e consistenti principalmente in danni subiti dai veicoli coinvolti;
- le spese di ospedalizzazione ed assistenza medica ambulatoriale;
- costi *amministrativi* ovvero in quelli che misurano il grado di utilizzo di attività prestate da istituti assicurativi, organismi pubblici e privati, in occasione dei loro interventi nelle varie fasi in cui si articola il fenomeno degli infortuni stradali e le sue conseguenze.

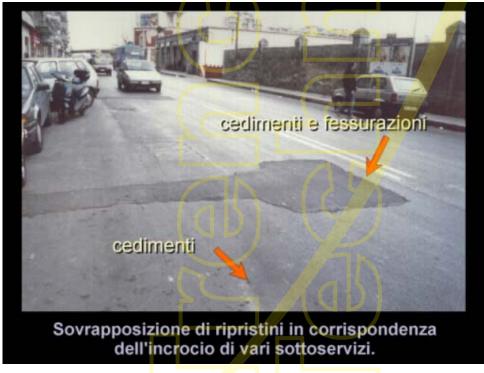
Il complesso di tali costi viene indicato con Cis.

3.1.2.5. Costo per l'eventuale perdita de<mark>ll</mark>e caratteristiche originarie della infrastruttura viaria

I capitolati e le norme esecutive prevedono opere di ripristino qualora l'infrastruttura venga interessata da interventi di demolizione. Il caso tipico è quello dei sottoservizi posati al di sotto delle sovrastrutture stradali. Con le tecniche di posa tradizionali, lo scavo di una trincea comporta la demolizione di parte della sovrastruttura e della fondazione stradale, con successivo rinterro e ripristino.

L'osservazione condotta su migliaia di chilometri di strade (specie in ambito urbano), soggette a questo genere di operazioni, dimostra come, al di là di quanto prescritto dalle norme, la pratica esecutiva corrente produca sempre, nel tempo, effetti negativi sulle caratteristiche funzionali della pavimentazione stradale, con ricadute sensibili sulla collettività intesa non solo come l'insieme degli utenti ma anche come l'insieme degli enti proprietari della strada.







Questi costi sono rappresentati:

- a) dal costo dei successivi interventi di ripristino e ripavimentazione;
- b) dal disconfort di viaggio causato dai dissesti;
- c) dalla perdita di immagine dell'ente proprietario;

Si ritiene che il costo per la perdita delle caratteristiche originarie della infrastruttura viaria possa essere stimato come percentuale del costo, opportunamente attualizzato, dei ripristini effettuati per la posa in opera del sottoservizio.

L'epoca di attualizzazione è stimata, a partire dal presente, in funzione del periodo medio entro il quale si rende necessario l'intervento di ripristino. Sulla entità di tale intervallo potrebbero essere espressi pareri discordanti. Si ritiene, sulla base dell'esperienza, che tale intervallo non possa essere assunto maggiore di 4 anni.

Con tale ipotesi limite se Cr rappresenta il costo per i ripristini sostenuto all'atto della posa del sottoservizio, il costo C'r da sostenere per gli stessi ripristini dopo na anni è pari a:

$$C'_r = C_r (1+i)^{n_a}$$

essendo i il tasso medio di attualizzazione.

Moltiplicando C'r per un opportuno coefficiente riduttivo (0,4÷0,6) si ottiene il costo Cpco relativo alla perdita delle caratteristiche originarie della infrastruttura viaria

3.1.2.6. Disconfort di viaggio sopportato dall'utente.

La maggiore permanenza nel veicolo, causata dal perditempo che l'interferenza genera, accresce in

generale il disagio psicofisico del conducente e dei passeggeri.

L'attesa in coda o la guida in condizioni di traffico congestionato, a causa della maggiore vicinanza con altri veicoli e con i mezzi e le aree di cantiere, richiede una maggiore attenzione, producendo di conseguenza maggiori condizioni di stress.

Il disagio che ne deriva può generare un costo allorquando, per chi lo subisce, si verifica un abbassamento del rendimento nelle attività di produzione di beni e servizi, oppure quando, per attenuare le conseguenze dovute allo stress psicofisico, si ricorre all'uso di farmaci ed in generale dei servizi sanitari.

La quantificazione di tali costi è naturalmente molto difficile, ma secondo il nostro parere non si tratta, come invece parte della tradizione estimativa afferma, di costi non stimabili.

Uno strumento atto alla determinazione di tali costi può, a nostro avviso, essere costituito dal sondaggio demoscopico, mirato alla determinazione della qualificazione del disagio subito, dell'autostima dell'eventuale e conseguente minore rendimento lavorativo (facilmente monetizzabile) e della spesa farmaceutica e sanitaria sostenuta.

Attraverso medie pesate, assumendo come pesi le percentuali di risposta registrate nel sondaggio, è possibile determinare su un campione rappresentativo, quale sia percentualmente il disagio provato e quale il costo unitario conseguente (**c**udv), che moltiplicato questa volta unicamente per il numero di veicoli interessati dal perditempo causato dall'interferenza, fornisce la misura complessiva del costo per disconfort di viaggio sopportato dall'utente che indichiamo con Cdv.

Con il significato dei termini sin qui esposti, il costo di interferenza con l'infrastruttura di trasporto risulta quindi pari a:

$$C_{i} = C_{mtp} + C_{mc} + C_{tv} + C_{is} + C_{pco} + C_{dv}$$

3.1.3. Costi sociali

Come effetto concomitante all'esecuzione dell'opera, la collettività sopporta una serie di costi che si identificano o derivano da:

- a) diseconomie esterne: interferenze con le attività economiche locali.
- b) disagio ed interferenze con gli spazi residenziali

3.1.3.1. Diseconomie esterne.

Con diseconomie esterne abbiamo voluto indicare essenzialmente quelle diseconomie che si attivano a causa delle interferenze tra cantieri ed attività economiche locali di commercio, servizio ed artigianato. È diffusamente riconosciuto, da molti autori, come queste interferenze si generino, originando degli effettivi e quantificabili costi in termini di mancato fatturato delle attività economiche. Queste diseconomie, indicate eloquentemente da molti autori come "disturbo all'economia locale" trovano origine dalla congestione del traffico, dalla temporanea indisponibilità di parcheggio o fermata

trovano origine dalla congestione del traffico, dalla temporanea indisponibilità di parcheggio o fermata dei veicoli, dalla disagevolezza dei percorsi pedonali conseguenti alla cantierizzazione, dal rumore, dalla polvere, dall'inquinamento atmosferico, dalla sensazione di pericolo ed in generale di disagio che le persone provano in vicinanza di mezzi meccanici pesanti al lavoro, dal decadimento dell'immagine dell'area in cui sono collocati gli esercizi commerciali, di servizio ed artigianali.

Questa serie di cause inducono i consumatori a servirsi meno degli esercizi interessati dalle

interferenze, e questa influenza sulla scelta del consumatore è tanto più rilevante quanto maggiore è l'offerta di esercizi alternativi lontani dal cantiere ma prossimi alla zona e quanto meno necessario è il bene o il servizio che essi devono acquistare.

L'effetto in termini economici è rappresentato da un decremento del fatturato medio e quindi del profitto.

Esprimendo con:

Fm fatturato medio mensile degli esercizi presenti un una data zona

pma % minore fatturato indotto dalla cantierizzazione espresso come percentuale del fatturato medio mensile

rm% profitto medio per le attività presenti in quella zona

dme densità media di esercizi presenti nella zona (esercizi/unità di lunghezza)

L lunghezza media del cantiere

tc il tempo medio di durata del cantiere espresso in mesi

il mancato profitto complessivo, e quindi il costo per diseconomie esterne Pm, è dato da:

$$P_{m} = F_{m} \cdot p_{ma} \% \cdot r_{m} \% \cdot d_{me} L \cdot tc$$

Occorre notare che la percentuale pma % varia in funzione della tecnologia esecutiva impiegata.

Si ritiene che un criterio sufficientemente oggettivo sia quello di determinare la differenza tra le percentuali **p**ma %, per le diverse tecnologie esecutive disponibili, sulla base dell'ampiezza dell'area destinata al cantiere, sull'entità dell'inquinamento acustico ed atmosferico prodotto (*livello sonoro equivalente, emissioni di sostanze inquinanti: NOx, SO2, CO, HC, polveri*), sulla presenza di mezzi pesanti al lavoro.

Circa i valori assoluti assunti da pma %, secondo alcuni studiosi (S.C. Hsu e D.H. Jiang - Feng Chia University di Taichung - Taiwan, R.O.C. - 1997) con tecnologia open-cut questa percentuale oscilla tra il 25% ed il 35%, mentre la tecnologia No-Dig, comporterebbe un mancato profitto medio pari solo al 3.85% di quello determinato dalla presenza del cantiere open-cut.

Accanto alle diseconomie esterne rappresentate dal disturbo alla economia locale, dovremmo, per generalità di analisi, esaminare anche quelle che potremmo correttamente definire diseconomie esterne di impatto sociale della tecnologia.

L'introduzione, nel processo produttivo esaminato (posa di sottoservizi), di una tecnologia alternativa in termini anche di risorse umane e mezzi necessari, pone il problema dell'impatto che l'introduzione di questa comporta sulla realtà costituita dalle imprese che operano con altra tecnologia (open-cut).

Tale tipo di analisi coinvolge le politiche economiche e del lavoro di un'intera nazione e, se condotta nel transitorio (passaggio da una tecnologia ad un'altra), porrebbe un serio veto a qualsiasi cambiamento nelle tecnologie esecutive atte alla realizzazione di una qualsivoglia opera.

A questo proposito va sottolineato, anticipando in parte le conclusioni di questo lavoro, che grazie ai

A questo proposito va sottolineato, anticipando in parte le conclusioni di questo lavoro, che grazie ai minori costi generalizzati che si associano alla tecnologia del directional drilling, un utilizzo estensivo di questa consentirebbe un risparmio per la Società di notevole entità.

La Società raggiungerebbe a questo punto due obiettivi estremamente interessanti:

- disporre in forma estensiva di una tecnologia più efficiente ed a minore impatto per la posa/manutenzione dei sottoservizi;
- liberare risorse economiche (il risparmio conseguito) da destinare all'utilizzo delle tecnologie tradizionali (in termini di uomini e mezzi) in settori in cui queste risultano certamente utili per la

Società.

Le tecnologie esecutive con scavo sono infatti riconvertibili ad attività di trasporto e dislocamento di materie che possono trovare applicazione nel recupero ambientale e nella difesa del suolo.

3.1.3.2. Disagio ed interferenze con gli spazi residenziali

Il disagio generalizzato (ad esclusione di quanto già valutato con riferimento alle interferenze con infrastrutture di trasporto) è quello derivante dall'esposizione delle persone a livelli di rumore e di inquinanti al di sopra delle soglie di tollerabilità, a vibrazioni ed agli effetti psicologici (percezione di fastidio, pericolo, ecc.) che la presenza del cantiere genera. Le interferenze con gli spazi residenziali generano invece costi legati ai perditempo che si attivano quando le persone sono costrette a percorrere itinerari alternativi o disagevoli a causa della indisponibilità o alterazione temporanea di spazi destinati al transito ed alla sosta delle persone.

Questi fenomeni possono essere valutati attraverso opportune indagini demoscopiche tese non soltanto alla definizione dei caratteri qualitativi di tali fenomeni, ma anche alla determinazione dei costi connessi.

Come applicazione sperimentale gli autori della presente hanno elaborato un questionario composto da 14 domande a risposta multipla che è stato sottoposto ad un campione di persone estratto dalla popolazione della città di Bari. Tale questionario è stato elaborato anche per la valutazione di impatto ambientale comparativa realizzata dagli stessi autori.

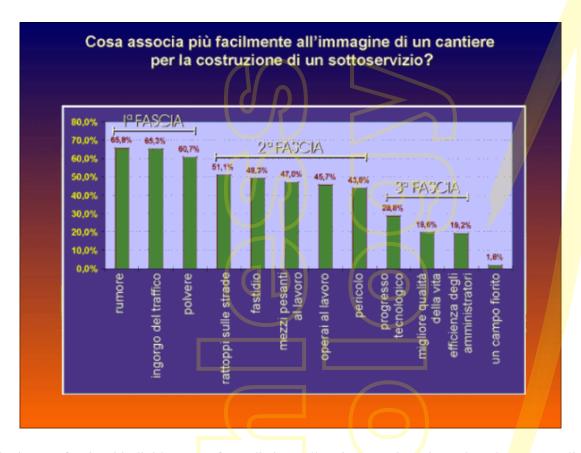
Bari rientrando nel gruppo delle cinque città italiane pilota, del progetto di realizzazione della rete di telecomunicazione a larga banda (progetto SOCRATE), promosso da Telecom Italia negli anni scorsi, è stata oggetto di un massiccio e diffuso intervento di cablatura operato, nella quasi totalità dei casi, con tecnologia open-cut, salvo qualche brevissimo tratto eseguito con directional drilling.

Non vi sono state zone della città (a parte la città vecchia) che non siano state interessate da una massiccia cantierizzazione; la popolazione ha quindi subito direttamente e diffusamente questo genere di impatti. Per questo motivo si ritengono significativi i criteri con cui questa indagine demoscopica è stata elaborata e condotta.

A questo proposito appare significativo entrare nel merito della sperimentazione eseguita, esibendo alcuni dei risultati ottenuti.

In particolare: l'83% del campione intervistato conosce con quali modalità vengono costruiti i sottoservizi, indicando nelle operazioni di scavo quelle che sono necessarie per l'effettuazione di questo genere di lavori.

Le immagini evocate dall'idea di un cantiere open-cut per la posa di sottoservizi, sono quelle mostrate nel diagramma seguente:



Nelle risposte fornite si individuano tre fasce distinte: alla prima, a cui corrispondono le percentuali più elevate, appartengono le immagini tipiche dei disagi più sgradevoli (certamente non immagini positive), alla seconda, con percentuali medie (~47%), appartengono sempre immagini piuttosto negative legate agli effetti della cantierizzazione; solo nella terza fascia, peraltro con percentuali di risposta piuttosto basse (~23%) si associano al cantiere open-cut immagini positive peraltro lontane dagli effetti della cantierizzazione.

Il 70% del campione si dichiara disposto a sopportare un sovrapprezzo medio del 32% sul costo di costruzione pur di non subire alcun disagio.

Su base aggregata ciò si traduce in una disponibilità a pagare un sovrapprezzo pari al 22%, pari alla media pesata tra coloro che sarebbero disposti a pagare una media del 32% e coloro che non sarebbero disposti a pagare nulla.

Questo sovrapprezzo è quello che la collettività pagherebbe per una tecnologia che non comporti alcun disagio. Da una valutazione di impatto ambientale comparativa condotta dagli stessi autori, e presentata in un'altra memoria, risulta che la tecnologia del directional drilling abbatte i disagi ad un valore comparabile (e sicuramente inferiore) al rapporto tra le aree medie di occupazione che i due tipi di tecnologie richiedono per la cantierizzazione (area directional drilling/ area open-cut). Se ra indica il valore di tale rapporto, il complemento ad 1 di tale rapporto (1-ra) moltiplicato per il sovrapprezzo percentuale sp% (22%) espresso dalla collettività e per il costo di costruzione della tecnologia open-cut, quantifica, con buona approssimazione (avendo posto come base nulla quello corrispondente alla tecnologia del directional drilling), il costo sociale del disagio e delle interferenze con gli spazi residenziali.

3.1.4. Costi di rischio.

Per costi di rischio si intendono sostanzialmente i costi derivanti da danni procurati a persone o cose a causa dell'impiego di una data tecnologia esecutiva.

Riteniamo opportuno valutare essenzialmente le seguenti tre voci di costo:

- costo del danneggiamento di altri sottoservizi o oggetti interrati (ipogei, siti archeologici, strutture di fabbrica, ecc.);
- costo degli incidenti ad operai addetti alle operazioni di cantiere;
- costo degli incidenti che coinvolgono terzi.

Il costo del danneggiamento di altri sottoservizi o di oggetti interrati è una voce certamente di difficile determinazione quantitativa, in quanto dipende in grande misura dalla natura del lavoro eseguito, dalle capacità tecniche dell'impresa che esegue i lavori, nonché dalle condizioni ambientali. Tuttavia riteniamo estremamente significativo tracciare quanto meno gli indirizzi qualitativi verso cui la ricerca si sta indirizzando per una quantificazione attendibile di tali costi.

Con la tecnologia open-cut, il problema del danneggiamento sussiste in quanto non sono precisamente note a priori né la presenza né la posizione di una serie di oggetti presenti nel sottosuolo, quali:

- altri sottoservizi
- reperti archeologici
- ipogei
- strutture di fabbrica (fondazioni di edifici, cisterne, locali interrati, ecc.).

All'atto dello scavo spesso si interferisce pesantemente con tali oggetti, provocando in molti casi dei danni la cui stima dipende dalla natura dell'oggetto e dalla consistenza del danno arrecato. Poiché si tratta di un rischio, il costo relativo dovrebbe essere valutato con le metodologie tipiche del settore assicurativo, quindi in forma di premio assicurativo.

Questa impostazione se può risultare certamente accettabile, nel caso in cui il danneggiamento riguardi sottoservizi o strutture di fabbrica interrate che non comportino conseguenze negative per la salute delle persone, certamente non lo è affatto quando questo comporti danno grave alle persone (morte) o danneggiamento di siti archeologici ed ipogei.

Entriamo infatti nella sfera delle valutazioni che attengono ad elementi difficilmente suscettibili di monetizzazione, quali: il valore della vita umana, il valore dei reperti archeologici o degli ipogei. L'impostazione secondo la quale il danno possa essere bilanciato da un risarcimento in denaro, non sembra in questo caso essere adeguata, in special modo se si dispone di tecnologie (oltretutto a minore costo generalizzato) che consentono una notevole riduzione di tali rischi.

Con le tecnologie No-Dig infatti uno dei vantaggi tecnicamente rilevanti è senz'altro quello indotto dalla necessità di dover effettuare, prima della esecuzione di un qualsiasi intervento, una precisa mappatura con identificazione degli oggetti presenti nel sottosuolo.

In tal senso le tecnologie georadar hanno raggiunto uno sviluppo ed una affidabilità sufficienti, a differenza di quanto invece avveniva sino a pochissimi anni fa.

Attraverso queste metodologie è quindi possibile individuare preventivamente gli oggetti presenti nel sottosuolo, attuando le strategie progettuali ed esecutive più opportune per ridurre al minimo il rischio di danneggiamento.

Un vantaggio indotto dall'uso di tali metodologie è infine rappresentato dalla disponibilità, a mappatura eseguita, di una cartografia accurata del sottosuolo che, se opportunamente coordinata ed uniformata, può costituire per la Pubblica Amministrazione una risorsa informativa di enorme utilità con ulteriore vantaggio per la collettività.

Nel caso del danneggiamento ad altri sottoservizi una stima può essere fondata sul costo del ripristino e sul costo dell'eventuale interruzione di servizio conseguente al danneggiamento.

Per citare un dato di esempio, nelle cantierizzazioni open-cut operate in Bari nell'ambito del progetto SOCRATE, è risultata una incidentalità media pari ad un danneggiamento ad altro sottoservizio ogni 400 metri di linea posata.

Il costo e quindi la frequenza degli incidenti ad operai addetti



alle operazioni di cantiere dipendono in larga misura dalle capacità tecnico organizzative dell'impresa che esegue i lavori, dal livello di informazione di cui è dotato il personale, dal rispetto delle norme di sicurezza nonché dalle condizioni ambientali.

Si tratta di una materia che, data la sua grande attualità, da sola richiederebbe un approfondimento a parte che esula dagli obiettivi del presente lavoro.

Certamente un'analisi del rischio legato all'impiego delle due tecnologie alternative (open-cut e directional drilling) rivela che i fattori di rischio nelle tecnologie open-cut cono certamente più rilevanti qualitativamente e quantitativamente di quanto invece non accada per il directional drilling.

Non esistono però ancora sufficienti dati statistici per dimostrare quanto l'incidentalità e quindi il costo di rischio relativo, sia minore con l'uso del directional drilling.

Per lo stesso motivo, sebbene qualitativamente si identifichino minori fattori di rischio nella tecnologia del directional drilling, non è possibile quantificare il costo del rischio di incidenti che coinvolgono terzi.

3.1.5. Costi di impatto ambientale.

I costi di impatto ambientale dovrebbero quantificare gli effetti (negativi) conseguenti all'impiego di una data tecnologia, che nel caso in esame derivano essenzialmente da fenomeni di inquinamento acustico-atmosferico delle risorse libere (aria, acqua, suolo).

Come una intera scuola di pensiero afferma, una valutazione di questi costi operata con metodologie proprie dell'analisi tecnico-economica, potrebbe essere fuorviante, per due motivi essenziali: perché potrebbe portare ad una sovrastima dei costi, per effetto della monetizzazione di impatti la cui mitigazione risulta tecnicamente difficoltosa o al limite impossibile e perché porterebbe a trascurare valutazioni che non attengono a risorse passibili di analisi economica (il paesaggio, la qualità della vita, ecc.).

Per queste ragioni si è ritenuto opportuno inserire nell'elenco degli effetti negativi della cantierizzazione i costi ambientali ma di fatto ricorrere, al fine di produrre un'analisi effettivamente corretta, una Valutazione di Impatto Ambientale Comparativa.

Data l'articolazione dell'argomento, si è ritenuto opportuno condurre uno studio che possiede una propria autonomia, anche per non aggiungere ulteriori elementi di considerazione, peraltro necessari, ad un lavoro già di per se corposo, il cui obiettivo potrebbe altrimenti risultare nebuloso. Pertanto la Valutazione di Impatto Ambientale comparativa costituisce oggetto di autonoma pubblicazione presentata contestualmente alla presente, ed alla quale si rimanda per l'assunzione dei risultati conclusivi.

4. Esempio applicativo.

Si ritiene opportuno sviluppare un esempio applicativo della procedura proposta, allo scopo di documentare con dati numerici significativi il confronto tra tecnologia open-cut e directional drilling. L'esempio è stato elaborato sulla base di un cantiere open-cut realmente installato per la posa di cavi per telecomunicazione, su una strada ad alta intensità di traffico della città di Bari.

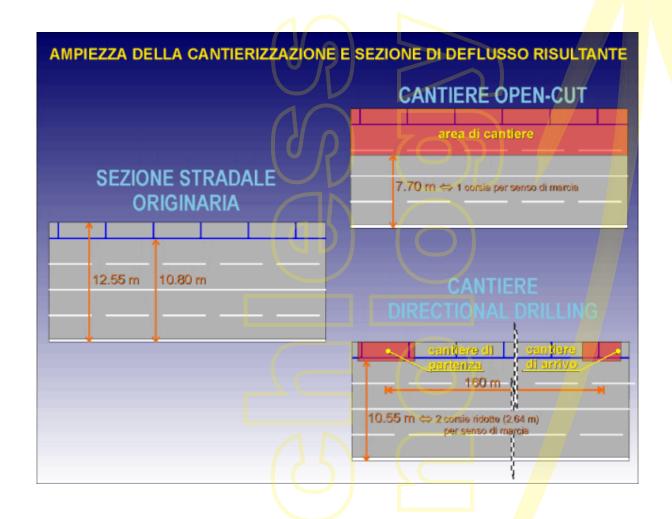
Il lavoro è consistito nella posa di un pacco tubi costituito da 1Ø125 + 5Ø63 (misure in mm). Il cantiere, della lunghezza complessiva di ca. 160 m, prevedeva lo scavo di una trincea trapezia con fondo scavo della larghezza di 40 cm, larghezza maggiore pari a 50 cm, profondità del fondo scavo (misurata dal piano stradale) pari a 100 cm.

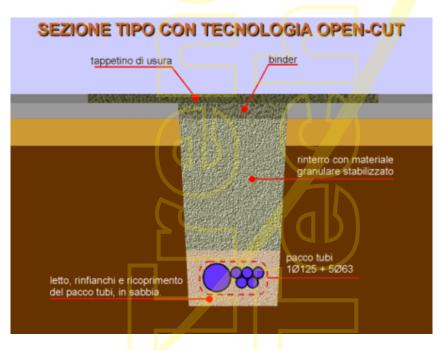
La strada, interessata dal cantiere, è via Capruzzi, nel tratto che va dall'incrocio con via Amendola all'incrocio con via dei Mille.





La larghezza della carreggiata, misurata da ciglio à ciglio è pari a 12,55 m, con due corsie per senso di marcia da 2,70 m ciascuna più una corsia di sosta, presente da un solo lato, di larghezza pari a 1,70 m. L'asse dello scavo era posto a 3.60 m da uno dei cigli; l'area di occupazione aveva quindi una larghezza pari a circa 4.85 m ed una estensione media pari a circa 40 m. La cantierizzazione ha avuto una durata complessiva pari a 7 gg. (comprese le operazioni di ripavimentazione effettuate dopo circa 6 mesi dal termine delle operazioni di posa del binder)







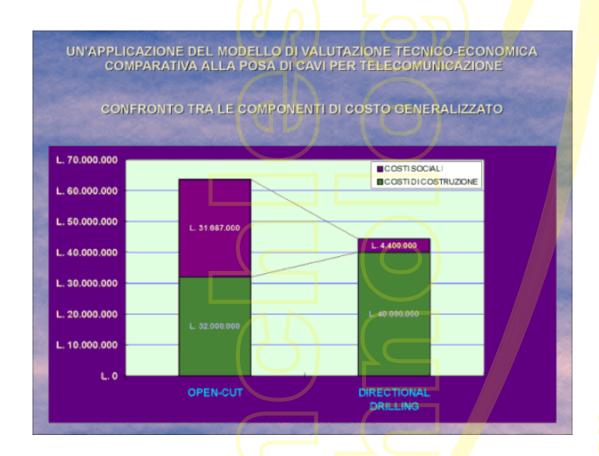
4.1. Valutazione degli effetti della cantierizzazione.

	,		
voce di costo	ipotesi generali	open-cut	directio <mark>nal d</mark> rilling
Costi di costruzione	Il terreno presentava una percentuale di trovanti rocciosi, strutture murarie o strati sottili di roccia non superiore al 20%. Inoltre lo scavo è stato realizzato per l'80% con mezzi meccanici.	prezzi effettivamente pagati per la posa di cavidotti per telecomunicazioni 32.000.000 lire costo unitario: 200.000 lire/m Al crescere della profondità del fondo scavo questo costo unitario sale a: 242.000 lire/m per 1.4 m 250.000 lire/m per 1.5 m 310.000 lire/m per 2.0 m Oltre i due metri il costo unitario subisce un salto a causa dei sovrapprezzi esistenti per tutte le voci di scavo al di sotto dei 2 metri e per la necessità di ricorrere comunque ad opere provvisionali di sostegno che nel calcolo precedente non sono state inserite.	Comprendendo anche l'indagine georadar, che incide per il 4% circa del totale: 40.000.000 lire costo unitario: 250.000 lire/m Al crescere della profondità questo costo unitario rimane costante.
Costo del maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente	La strada in esame rientra tra quelle a più alta intensità di traffico. Ciononostante consideriamo la stessa come strada di zona semicentro, con coefficiente fa=0.65	12.850.000 lire disponibile una sola corsia per senso di marcia. Risulta inoltre: Qme>nr Qr e di conseguenza formazione della coda in ampie fasce della giornata.	2.880.000 lire disponibili due corsie per senso di marcia. Risulta inoltre: Qme <nr coda="" della="" di="" e="" formazione="" nell'ora="" punta.<="" qr="" quindi="" solo="" td=""></nr>
Maggiore costo di carburante sopportato dall'utente	Si considera una potenza media motore pari a 50 KW, un consumo medio specifico pari a 50 g/KWh ed un costo del carburante pari a 2,2 lire/g (corrispondenti a circa 1650 lire/litro).	6.780.000 lire.	1.520.000 lire
Costi terminali di viaggio	Sono presenti stalli par <mark>alleli</mark> al ciglio con lunghezza media pari a 5.5 m.	605.000 lire	115.000 lire

aggiuntivi			
Costo sociale degli incidenti	-	NON VALUTATO	NON VALUTATO
Costo per l'eventuale perdita delle caratteristiche originarie della infrastruttura viaria	La valutazione di questo costo ha ovviamente senso unicamente con riferimento alla tecnica open-cut. Nel caso esaminato il costo dei ripristini è stato pari a Cr = 7.970.000 lire. Si considera un valore di na=2 anni, si calcola un costo: C'r = 9.296.000 lire avendo assunto un tasso medio di attualizzazione i=0.08.Il coefficiente di riduzione è 0.4	3.718.000 lire	O lire
Disconfort di viaggio sopportato dall'utente	Non viene valutato, ma essendo proporzionale al perditempo complessivo Tc causato dall'interferenza è, nel caso in esame, con la tecnologia open-cut 4.5 volte maggiore di quello che si ha per cantiere con directional drilling	NON VALUTATO (ma è 4.5 volte maggiore)	NON VALUTATO
Interferenze con le attività economiche locali	Nel tronco in esame si ha una densità media pari a 1 esercizio (commerciale, di servizio o artigianale) ogni 10 m. Si considera (ma certamente tale valore è sottostimato) un fatturato medio ad esercizio pari a: Fm =30.000.000 lire/mese con un profitto medio percentuale pari a rm=20%. La percentuale pma% si assume pari al 25%	1.400.000 lire	trascurabile
Disagio ed interferenze con gli spazi residenziali	Il rapporto tra le aree di occupazione tra cantiere nodig ed open-cut è pari a: ra=0.10 Dal sondaggio effettuato risulta che la collettività pagherebbe un sovrapprezzo pari a sp% =22% del costo di costruzione per l'eliminazione del disagio.	6.314.000 lire	O lire
Costo del danneggiamento di altri sottoservizi o oggetti interrati	-	NON VALUTATO	NON VALUTATO
Costo degli incidenti ad operai addetti alle operazioni di cantiere	-	NON VALUTATO	NON VALUTATO
Costo degli incidenti che coinvolgono terzi	-	NON VALUTATO	NON VALUTATO
Costi di impatto ambientale	-	VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE COMPARATIVA	VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE COMPARATIVA

COSTI GENERALIZZATI	OPEN-CUT	DIRECTIONAL DRILLING
TOTALE	63.66 <mark>7.000 lire</mark>	44.400.00 <mark>0 li</mark> re
UNITARIO	398,000 lire	278.00 <mark>0 li</mark> re

Il diagramma seguente riassume i risultati ottenuti.



Il confronto tra i costi generalizzati ottenuti mostra che, per l'applicazione considerata, avendo peraltro non valutato diverse voci di costo, la tecnologia open-cut è 1,43 volte più costosa della tecnologia con directional drilling.

Bibliografia.

Boyce G.M. and E.M. Bried - "Estimating the Social Cost Savings of Trenchless Technology" - No-Dig Engineering - Trenchless Technology, Vol. 1, N. 2 - December 1994.

Boyce G.M., Bried E.M., Brinckerhoff P., Indipendent Consultant - "Social Cost Accounting for Trenchless Projects" - North America NO-DIG '98 - Conference Papers - Albuquerque, New Mexico - April 1998.

Caruso A. - "La Valutazione di Impatto Ambientale" - Dal progetto al cantiere di ingegneria civile, le nuove tendenze - Atti del Seminario - Bari - 1994.

Castellano L. - "Il Costo dei Lavori" - Manuale di Ingegneria Civile - Vol. III, Cap. VIII - E.S.A.C. - Roma - 1983.

Castellano L. - "Problemi Economici" - Manuale di Ingegneria Civile - Vol. III, Cap. IX - E.S.A.C. - Roma - 1983.

Catalano G.M., Lombardo S. - "L'analisi Costi-Benefici nelle Opere Pubbliche" - Dario Flaccovio - Palermo - 1995.

Chirulli R., Colonna P. - "Problemi di progetto, di razionalizzazione del traffico, di cantierizzazione, e di esecuzione connessi con gli adeguamenti di sezioni di strade di grande viabilità in corrispondenza di opere d'arte" - AIPCR - XXII Convegno Nazionale Stradale - Perugia - Luglio 1994.

Chirulli R. - "Individuazione e scelta di tracciati alternativi nel progetto stradale" - Vie & Trasporti n. 608 anno LXV - Casa Editrice La Fiaccola S.r.l. - Milano - 1996.

Chirulli R. - "New Generation Friction Welded Drill Pipe" - No-Dig International Vol.8, no. 7 - Mining Journal Ltd. - London - July 1997.

Chirulli R. - "Aste di perforazione frizionate ad alta resistenza meccanica e bassa resistenza idraulica interna" - Quarry and Construction - Edizioni PEI - Parma - Luglio 1997.

Chirulli R. - "Oriente ed Occidente a Confronto sulle Tecnologie Trenchless" - Quarry and Construction - Edizioni PEI - Parma - Dicembre 1997

Chirulli R. - "L'Evoluzione della Tecnologia del Directional Drilling" - Le Strade, Casa Editrice La Fiaccola - Milano - Gennaio 1998.

Chirulli R., Longo V. - "Le Tecnologie Trenchless nel Quadro di uno Sviluppo Territoriale Armonico" - L'Area Metropolitana di Catania, eperienze e speranze a confronto - Atti del Convegno - Catania - Marzo 1998.

Henneveld Menno - "Emergence of Application of Trenchless Technology in Australia and New Zeland" - NO-DIG International '97 - Proceedings - Taipei, Taiwan R.O.C. - November 1997.

Hsu S.C., Jiang D.H. - "Economic Analysis and Social Cost of the Underground Pipelines Construction in Taiwan" - NO-DIG International '97 - Proceedings - Taipei, Taiwan R.O.C. - November 1997

Lacava M., Solustri C. - "Progettare il Cantiere" - NIS, Roma - 1991.

Mohring, K. - "Erfahrungen und Technisch-Wirtschaftliche Betrachtungen bei der Planung und beim Bau von Abwasserkanalen Kleiner Nennweiten in Geschlossner Bauweise" - Vortrag Anlablich des 100 Jahrigen Bestehens der Società del Gres Ing. Sala - Bergamo - October 1987.

Paul C.F. Ng, Sivakumar V., Kearns D.M. - "Recent Statistics of Microtunneling in the U.K." - NO-DIG International '97 - Proceedings - Taipei, Taiwan R.O.C. - November 1997.

Peruzzi M. - "Ruolo della U.L.S.S. nella valutazione della sicurezza delle opere di scavo urbane" - Giornata di Studio ATIG - Atti - Verona - Maggio 1996.

Sterling, R.L. - "Indirect Cost of Utility Placement and Repair Beneath Streets" - Minnesota Department of Transportation, Report n. MN/RC-94/20 - August 1994.