



Valutazione dei costi socio/ambientali delle tecniche di scavo

Luca GIACOMELLO - Telecom Italia Lab
Paolo TROMBETTI - Telecom Italia



PREMESSA	pag. 4
TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE ANALIZZATE	pag. 5
La tecnologia di scavo a cielo aperto	pag. 5
La tecnologia di perforazione orizzontale guidata	pag. 5
La tecnologia microtrench	pag. 6
La tecnologia minitrincea (minitrench)	pag. 7
MODELLO ECONOMICO/AMBIENTALE	pag. 8
Costo d'installazione	pag. 8
Costo legato all'incremento del traffico viario	pag. 8
Costo di impatto ambientale	pag. 9
IL CASO DI STUDIO: APPLICAZIONE ALLE TECNICHE IMPIANTISTICHE PER TELECOMUNICAZIONI	pag. 10
Ipotesi di calcolo	pag. 10
Stima dei costi	pag. 10
<i>Costo d'installazione</i>	pag. 10
<i>Costo del maggior tempo di percorrenza</i>	pag. 10
<i>Costo del maggior consumo di carburante</i>	pag. 11
<i>Costo di impatto ambientale legato all'utilizzo delle tecnologie</i>	pag. 11
<i>Costo d'impatto ambientale legato all'incremento del traffico viario</i>	pag. 12
Analisi dei risultati	pag. 12
CONCLUSIONI	pag. 13
BIBLIOGRAFIA	pag. 14

Sommario

Valutazione dei costi socio/ambientali delle tecniche di scavo

PREMESSA

Nel settore della costruzione e manutenzione dei sottoservizi, lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie alternative rappresenta una novità non soltanto sul piano strettamente tecnologico, ma anche e soprattutto sul piano del differente impatto che queste tecnologie comportano per la collettività. Per un gestore di telecomunicazioni quale Telecom Italia, che ha adottato verso l'ambiente un atteggiamento proattivo votato alla minimizzazione degli impatti negativi e al massimo sfruttamento delle opportunità generate dallo Sviluppo Sostenibile, è di vitale importanza conoscere in modo dettagliato gli impatti sociali e ambientali associati alle proprie attività; questo obiettivo si traduce, in pratica, nella necessità di sviluppare strumenti mirati alla quantificazione delle esternalità associate ai processi/prodotti gestiti. Le esternalità, infatti, rappresentano gli effetti, generati da un bene nel corso del suo ciclo di vita, i cui costi non sono supportati solo da coloro che partecipano alla fruizione del bene stesso ma si ripercuotono su tutta la collettività; la quantificazione delle esternalità consente, quindi, di tradurre economicamente gli impatti sociali e ambientali associati ai propri processi industriali. Nel documento viene introdotto un modello di valutazione tecnico/economica che, tenendo conto degli effetti della cantierizzazione, consente di stimare le esternalità associate a tecniche impiantistiche quali scavo a cielo aperto, perforazione orizzontale guidata (no-dig)¹, microtrench e minitrincea. In particolare verranno esaminate le componenti: costo di installazione, costo legato all'incremento del traffico viario e costo di impatto ambientale relativamente a un case study rappresentativo di una situazione media della realtà di Telecom Italia.

Per la valutazione del costo legato all'incremento del traffico viario è stato utilizzato un algoritmo di valutazione derivato dalla letteratura [1] che permette di stimare l'influenza dei lavori di scavo, quindi delle parzialiizzazioni della carreggiata, sulla portata effettiva delle strade. La valutazione del costo di impatto ambientale ha preso in considerazione due fattori: gli impatti ambientali provocati dall'utilizzo delle diverse tecnologie di scavo e quelli attribuibili all'incremento del traffico, con conseguente aumento delle emissioni dei gas di scarico dei veicoli coinvolti nell'area di cantierizzazione. La valutazione di questi due elementi si è basata sui risultati ottenuti dagli inventari stilati a valle di un'analisi di tipo Life Cycle Assessment (LCA), con successiva monetizzazione degli impatti sull'ambiente mediante il metodo Environmental Priority Strategies (EPS) [4]. Si precisa, inoltre, che lo scopo del documento è di esporre uno strumento per effettuare considerazioni di carattere socio/ambientale con indicazioni di costo, senza effettuare confronti specifici tra le diverse tecnologie. Tale studio può fornire al progettista utili indicazioni circa la scelta della migliore tecnica di scavo adottabile per ogni singolo caso di posa di infrastruttura.

¹ Con il termine "no-dig" si intende l'insieme delle tecniche di messa in opera dei tubi nuovi, riparazione e riabilitazione dei tubi esistenti e ispezioni di infrastrutture sotterranee mediante macchine e robot senza la necessità di scavare a cielo aperto o, in alcuni casi, limitando lo scavo alla realizzazione delle buche di partenza e di arrivo.

LE TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE ANALIZZATE

Le tecnologie esecutive analizzate nel seguito del documento sono:

- Scavo a cielo aperto
- Perforazione orizzontale guidata
- Microtrench
- Minitrincea.

Nei diagrammi di flusso relativi alle varie tecniche, i riquadri tratteggiati indicano l'insieme delle fasi considerate nelle analisi LCA. Inoltre si precisa che l'analisi svolta non tiene conto dell'infrastruttura posata; ci si è focalizzati sulla valutazione delle differenti tipologie di scavo e delle operazioni a esse correlate.

La tecnologia di scavo a cielo aperto

La tecnologia di intervento con scavo a cielo aperto (tecnologia open-cut) rappresenta la tecnologia esecutiva tradizionale. Essa prevede la creazione di una trincea nel terreno sul fondo della quale vengono posate le infrastrutture che contengono i cavi per telecomunicazioni; questo comporta l'utilizzo di una serie di mezzi e attrezzature per la movimentazione di grandi quantità di materiale da e per la zona di cantiere. Questa tecnologia si articola generalmente nelle seguenti fasi principali:

- demolizione delle sovrastrutture esistenti (pavimentazioni stradali, pedonali, ecc.);
- scavo di trincea sino alla profondità operativa;
- esecuzione delle operazioni di posa;
- rinterro;
- ripristino.

Come illustra il seguente diagramma a blocchi.

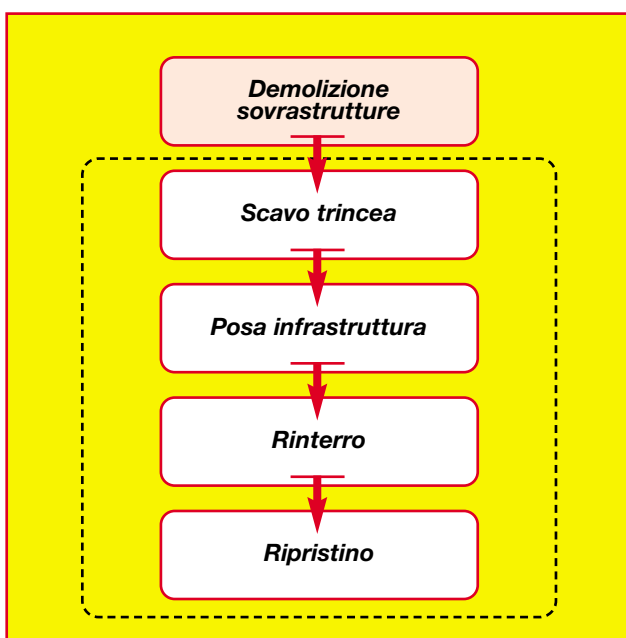


Fig.1 Diagramma di flusso relativo alla tecnica di scavo a cielo aperto



Fig.2 Scavo a cielo aperto

La tecnica di scavo tradizionale presenta una serie di inconvenienti tra cui fenomeni di inquinamento atmosferico e acustico legato ai macchinari utilizzati nel cantiere di scavo; una grande quantità di terra viene inoltre destinata a discarica nel corso dei lavori, e si verifica un consumo di risorse legato al materiale inerte necessario per procedere al rinterro, con conseguenti trasporti aggiuntivi che costituiscono un ulteriore fattore di impatto ambientale.

Va inoltre considerato che le operazioni di scavo a cielo aperto non sono agevolmente praticabili in tutte le realtà, per esempio nei centri storici delle città, nei piccoli centri abitati ove le dimensioni trasversali delle strade sono limitate, nelle zone troppo trafficate, laddove la riduzione della velocità di avanzamento dei veicoli produrrebbe eccessivi disagi per le attività commerciali e turistiche; tutta questa serie di problematiche ha portato a individuare delle tecnologie di scavo alternative per realizzare le infrastrutture. Nei prossimi due paragrafi si illustrano tre tecnologie innovative, oggetto nel seguito di valutazione economica e ambientale.

La tecnologia di perforazione orizzontale guidata

Il termine "no-dig" individua una serie di tecniche (directional drilling, microtunnelling, rod pusher ecc.) che consentono la messa in opera di tubi e infrastrutture sotterranee mediante macchine e robot, senza la necessità di operare scavi a cielo aperto. Nel seguito si farà riferimento in particolare alla tecnica denominata *perforazione orizzontale guidata* (directional drilling) [2], [3].

A seconda dell'utilizzo o meno di fluidi di perforazione la tecnologia si può classificare a secco o a umido; l'analisi svolta riguarderà la perforazione orizzontale guidata a secco, tecnica attualmente largamente diffusa e impiegata per la maggior parte delle operazioni di posa delle infrastrutture.

Essa prevede una perforazione eseguita mediante un martello pneumatico montato su una trivella rotante; l'avanzamento avviene per la spinta esercitata dal martello: per effetto della spinta il terreno viene compresso lungo le pareti del foro. Una miscela lubrificante, a base di acqua viene utilizzata per il raffreddamento dell'utensile. Il diametro della trivellazione è eventualmente allargato, in funzione del diametro dell'infrastruttura da posare, tramite il passaggio successivo di alesatori di diametro sempre maggiore. La trivellazione guidata parte dalla superficie (o da una buca o da un pozzetto) e consente di superare ostacoli architettonici e naturali limitando le operazioni di realizzazione alle sole due estremità. Occorre, in via preliminare, eseguire una serie di ricerche e indagini (introspezione radar del sottosuolo, indagine litologica) che consentano di ricostruire la situazione del sottosuolo nel tratto che dovrà essere interessato dalla posa dei tubi; ciò al fine di evitare danni ad altre infrastrutture preesistenti e ottimizzare il percorso dell'infrastruttura. Le fasi principali del processo di scavo, riassunte anche graficamente nel diagramma di flusso di Figura 4, sono elencati qui di seguito:

- indagini preliminari con mappatura del sottosuolo (radar, litologica);
- delimitazione di aree di cantiere;
- realizzazione del foro pilota;
- eventuale alesatura del foro pilota e contemporanea posa dell'infrastruttura.



Fig.3 Cantiere no dig

Questa tecnologia, non comportando alcuno scavo, non necessita della demolizione delle sovrastrutture esistenti, attività prevista nel caso dello scavo tradizionale.

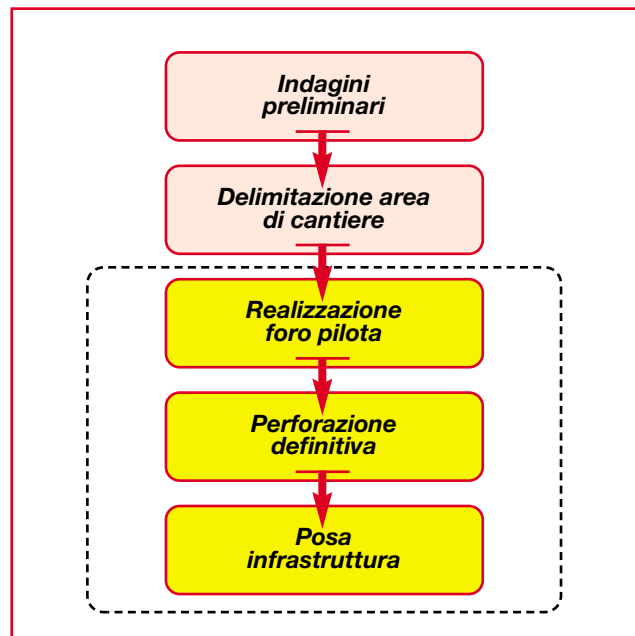


Fig.4 Diagramma di flusso relativo alla tecnologia di perforazione orizzontale guidata

La tecnologia microtrench

Questa tecnica, particolarmente innovativa, sta cominciando a diffondersi in questi ultimi tempi e si presenta come particolarmente adatta per la posa di tratti di rete di accesso. Le caratteristiche della tecnica consentono di avere cantieri che coinvolgono superfici molto limitate, con evidenti benefici dal punto di vista dell'intralcio alla viabilità. La tecnologia considerata in questo studio consiste essenzialmente nel praticare dei solchi nell'asfalto di 7-10 cm di profondità e 10-12 mm di larghezza: all'interno di tali solchi viene dapprima posata l'infrastruttura, costituita da cavi ottici di piccole dimensioni e due cordoli sovrastanti di protezione, e poi effettuata una sigillatura mediante materiale bituminoso. I macchinari impiegati (in particolare il "tagliasfalti") sono di dimensioni ridotte e consentono di allestire un cantiere di dimensioni molto limitate. Le fasi principali sono quindi riassumibili nel seguente modo:

- realizzazione del solco di microtrincea;
- lavaggio e pulizia del solco (con acqua e aria compressa);
- asciugatura del solco;
- posa del cavo e delle sue protezioni (due cordoli polimerici);
- sigillatura del solco con materiale bituminoso.

Tali fasi sono illustrate in Figura 5.

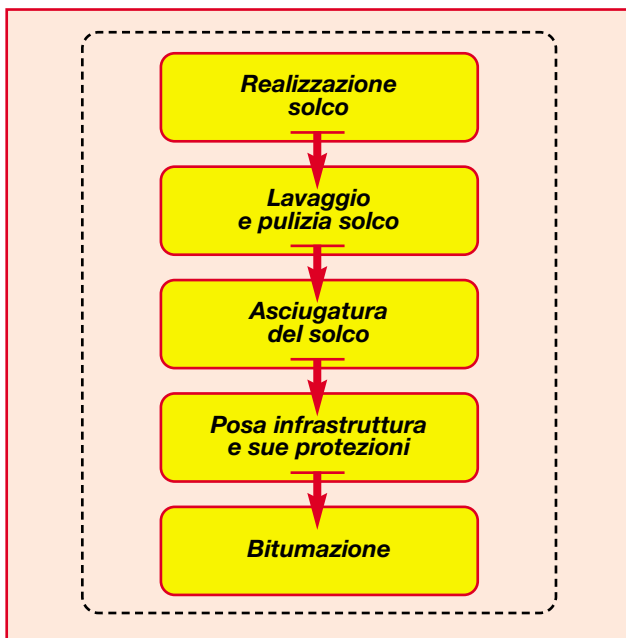


Fig.5 Diagramma di flusso relativo alla tecnica microtrench

Utilizzando questa tecnica viene asportata, a differenza della perforazione orizzontale, una quantità trascurabile di terra direttamente con le operazioni di pulitura del solco.



Fig.6 Cantiere microtrench

La tecnologia minitrincea (minitrench)

Si tratta di una tecnologia di scavo molto recente, che riduce il volume dello scavo adottando una tecnica di fresatura. La tecnologia "minitrincea" è utilizzata prevalentemente in rete di accesso.

Le operazioni da svolgere in sequenza sono le seguenti:

- realizzazione del solco mediante fresatura;
- posa dell'infrastruttura;
- riempimento del solco mediante la speciale malta cementizia.

Come illustrato in Figura 7.

Due tecniche di realizzazione sono state studiate: la prima, automatica in linea, che utilizza un unico macchinario per lo svolgimento di tutte le operazioni sopra descritte e la seconda dove le fasi operative vengono svolte in successione. In questo studio si è scelto di analizzare la prima tecnica (quella automatica) che prevede di interrare una infrastruttura di posa (2 tubi di diametro pari a 40 mm) posati in una trincea di larghezza pari a 7-10 cm e profondità di 30-35 cm. Con questo sistema la posa dell'infrastruttura e il riempimento sono eseguiti in un'unica operazione senza soluzione di continuità; il ripristino dell'asfalto avviene invece il giorno successivo. L'utilizzo di questa tecnica, rispetto all'utilizzo di più macchinari in sequenza, consente di ridurre i consumi e conseguentemente anche l'impatto ambientale a questi associato.

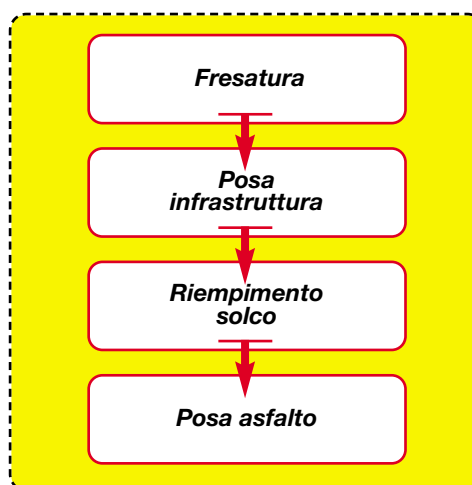


Fig.7 Diagramma di flusso relativo alla tecnica minitrincea

Effettuando questo tipo di scavo si produce materiale da conferire in discarica anche se, tenendo conto delle dimensioni della trincea, si tratta di quantitativi trascurabili.



Fig.8 Scavo con tecnica minitrincea

IL MODELLO ECONOMICO/AMBIENTALE

Nel seguito del documento vengono esaminate alcune componenti del costo legato all'esistenza dei cantieri per l'esecuzione dei lavori di scavo, confrontando dal punto di vista economico, laddove possibile, le tre tecniche di scavo considerate.

Le principali componenti di costo considerate nel seguito del documento sono:

- costo di installazione;
- costo legato all'incremento del traffico viario;
- costo di impatto ambientale.

Sono stati tralasciati, per mancanza di informazioni e per l'impossibilità di valutare alcuni parametri, il costo cosiddetto "sociale", cioè quello sopportato dalla collettività (legato a diseconomie esterne provocate dalle interferenze tra il cantiere e le attività economiche della zona considerata), nonché il costo di rischio, cioè quello derivante da danni procurati a persone o cose legati all'impiego di una determinata tecnologia esecutiva di scavo. Questi due tipi di costo sono influenzati direttamente dalle dimensioni del cantiere.

Allo scopo di documentare la metodologia utilizzata per la stima dei costi con dati numerici significativi, si è sviluppato un esempio applicativo della metodologia proposta avente l'obiettivo finale di evidenziare i vantaggi legati all'utilizzo di tecniche di scavo innovative.

Le ipotesi relative al tipo di cantiere a cui si riferiscono le varie stime di costo sono riportate in modo particolareggiato nei paragrafi specifici che seguono. Tutti i dati sono riferiti ad un'area di cauterizzazione presente in una strada ad alta densità di traffico in una zona semicentrale; si è ipotizzato che la lunghezza della carreggiata da ciglio a ciglio misuri circa 11 m, con due corsie per senso di marcia da 2,70 m ciascuna.

Costo d'installazione

Il costo di installazione è rappresentato dall'ammontare complessivo delle risorse occorrenti per la realizzazione dell'intervento costruttivo o manutentivo e del successivo ripristino della sede viaria in termini di: materiali, mezzi d'opera, lavorazioni, canoni e concessioni. Questi costi vengono valutati attraverso le classiche operazioni di computo e stima basate sull'uso di elenchi dei prezzi espressi dagli enti appaltanti.

Costo legato all'incremento del traffico viario

Il costo generato all'incremento del traffico viario è quello che scaturisce quando la cantierizzazione per la posa di un sottoservizio occupa in parte o del tutto la piattaforma viaria.

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

- **Parallele:** 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.
- **Trasversali:** quando il cantiere si sviluppa trasversalmente all'infrastruttura di trasporto potendo anche causare un'interruzione totale del traffico che su di essa si svolge.
- **Miste:** quando il cantiere presenta contemporaneamente tratti paralleli e trasversali all'infrastruttura di trasporto, potendo anche causare un'interruzione totale del traffico che su di essa si svolge.

Il costo legato all'incremento del traffico viario può essere considerato, in modo approssimato, come somma dei seguenti elementi:

- costo del maggiore tempo di percorrenza sopportato dall'utente;
- costo del maggior consumo di carburante sopportato dall'utente.

Tali elementi possono essere calcolati mediante un modello di calcolo previsionale² che si basa sull'influenza che parzializzazioni della carreggiata possono avere sulle portate effettive delle strade (distinguendo strade extra-urbane di grande comunicazione e strade urbane). La metodologia di calcolo analizzata è una basata su considerazioni di carattere geometrico e cinematico. Per l'applicazione del modello si è considerato un'interferenza di tipo parallela e un cantiere situato in una zona semicentrale. Va sottolineato che esistono anche altri modelli, cosiddetti modelli distributivi del traffico, basati su funzioni di impedenza che tengono conto delle velocità medie possibili in funzione delle condizioni temporanee della carreggiata (stato di occupazione, stato del manto stradale, presenza di ostacoli, ecc.).

Tali modelli, pur essendo più precisi e rigorosi, sono molto complessi in quanto tengono conto di un numero elevato di variabili e sono quindi di difficile applicazione, anche perché in letteratura non esistono dati sufficienti tali da consentirne un'applicazione pratica.

Dal modello [1] si ricava la seguente formula per il calcolo del costo legati agli effetti della cantierizzazione.

Costo legato agli effetti della cantierizzazione

$$= \text{costo del maggior tempo di percorrenza } (C_{mpt}) + \text{costo del maggior consumo di carburante } (C_{mc})$$

Il calcolo del costo del maggior tempo di percorrenza viene effettuato seguendo il processo nel seguito descritto.

² Il modello di riferimento scelto è quello indicato in bibliografia

Passo 1 Si comincia dalla “portata” della strada considerata, che è funzione delle sue caratteristiche intrinseche e della sua ubicazione nell’ambiente cittadino (centro, semicentro e periferia). La portata viene trasformata tenendo conto del fatto che il suo valore varia nel corso delle 24 ore e si ottiene così un valore di portata media giornaliera, denominato Q_{me} ed espresso in veicoli/ora, che viene preso come riferimento per le elaborazioni successive.

Passo 2 La portata Q_{me} viene confrontata con la portata ridotta che si ha in presenza di un ostacolo sulla carreggiata, costituito appunto dal cantiere. Questa viene indicata con $n_r Q_r$, ove n_r è il numero di corsie che rimangono percorribili anche in presenza dello scavo. Quando la portata ridotta è minore della portata Q_{me} si ha la congestione del traffico con formazione di code; questo è il caso di interesse per il calcolo del costo del maggior tempo di percorrenza.

Passo 3 Si calcola il valore del tempo di attesa in coda t_a per un singolo veicolo, sulla base della stima del numero di veicoli presenti in coda e del valore della portata ridotta che varia in funzione della tecnologia di scavo considerata.

Passo 4 Si calcola il tempo di attraversamento t_{atr} del cantiere sulla base della sua lunghezza e su una stima della velocità di attraversamento dello stesso.

Passo 5 Si ottiene così, sommando t_a (attesa in coda) e t_{atr} (attraversamento), il tempo totale t_{ic} perso da un singolo veicolo a causa del cantiere.

Passo 6 Si calcola il numero totale N_v di veicoli affetti da questa perdita di tempo in tutto il periodo dei lavori, moltiplicando la portata media Q_{me} per il tempo totale di cantierizzazione.

Passo 7 Si ricava la perdita di tempo T_t complessiva per tutti i veicoli interessati moltiplicando il numero totale di veicoli N_v per il valore di t_{ic} (perdita di tempo per il singolo veicolo) ricavato in precedenza.

Passo 8 Si passa dal tempo al costo considerando un valore monetario associato all’unità di tempo V_{amt} , ottenuto con ragionamenti statistici basati su dati ISTAT e relativi al guadagno orario medio dell’utente. Il valore di V_{amt} è fissato in 86,9 lire/min. Il costo complessivo C_{mpt} da attribuire al cantiere per la perdita di tempo è quindi il prodotto tra V_{amt} e il la perdita di tempo totale T_t :

$$C_{mpt} = 86,9 \cdot T_t$$

Costo di impatto ambientale

Il costo di impatto ambientale quantifica gli effetti negativi dovuti a fenomeni di inquinamento delle risorse quali acqua, aria, suolo e consumo di risorse non rinnovabili mediante l’utilizzo di un’analisi LCA. Si ricorda che in tale analisi non si considerano gli impatti di tipo visivo o acustico ma solo quelli di consumo di risorse e di produzione di emissioni legati ai processi e ai prodotti utilizzati.

La stima degli impatti ambientali è stata effettuata considerando gli effetti negativi legati all’utilizzo delle diverse tecnologie di scavo e all’incremento del traffico viario. Dai risultati degli inventari sono stati elaborati gli indici di impatto ambientale economico con la metodologia EPS [4]. Essa consiste nell’effettuare un’associazione tra i dati di emissioni e consumi di risorse e i vari effetti ambientali (effetto serra, acidificazione, buco dell’ozono ecc.), per poi elaborare un indice unico di impatto che è in pratica una somma pesata dei vari contributi all’impatto ambientale forniti da tutti gli effetti considerati. Questo indice globale, contrariamente ad altri metodi (EcoPoint, EcoIndicator) che utilizzano unità di misura adimensionali, è espresso in euro (€).

Il costo di impatto ambientale può essere pertanto considerato come somma dei seguenti elementi:

- costo d’impatto ambientale legato all’utilizzo delle tecnologie di scavo;
- costo d’impatto ambientale legato all’incremento del traffico viario.

IL CASO DI STUDIO: APPLICAZIONE ALLE TECNICHE IMPIANTISTICHE PER TELECOMUNICAZIONI

Il modello economico/ambientale illustrato in precedenza è stato applicato al fine di paragonare le tre tecniche impiantistiche innovative (perforazione orizzontale guidata, microtrench e minitrincea) con lo scavo tradizionale.

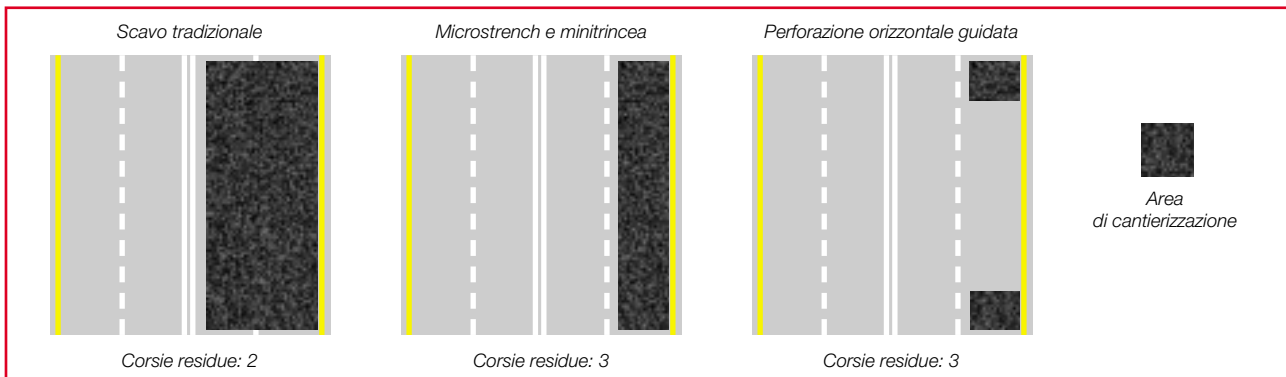
Ipotesi di calcolo

Per questo studio si sono utilizzate le seguenti ipotesi:

- strada in zona semicentrale composta da due corsie per senso di marcia, ciascuna delle quali larga 2,70 m: ogni senso di marcia ha quindi una carreggiata larga 5,40 m;
- larghezza del cantiere dello scavo tradizionale (parallelo) pari a 4,80 m dal ciglio della strada (distanza dalla mezzeria 60 cm), per cui il numero di corsie residue in presenza di cantiere è pari a 2;
- larghezza del cantiere della perforazione orizzontale guidata, microtrench e minitrincea (parallelo) pari a 1,80 m dal ciglio della strada (distanza dalla mezzeria 3,60 m), per cui il numero di corsie residue in presenza di cantiere è pari a 3. Si precisa inoltre che l'area di cantierizzazione nel caso di utilizzo della perforazione orizzontale guidata è limitata alla zona iniziale e finale del cantiere; nello studio si è ritenuto comunque che anche in tal caso il numero di corsie residue si riduca a 3 poiché il disagio causato dalla cantierizzazione ai veicoli è paragonabile a quello imputabile alle tecniche di microtrench e minitrincea.
- lunghezza dello scavo pari a 150 m;
- tempo totale di cantierizzazione: 7 giorni per scavo tradizionale, 3 giorni per perforazione orizzontale guidata e minitrincea, 1 giorno per microtrench;
- per la portata tipica della strada sono stati utilizzati i valori riportati in bibliografia [1].

La riduzione di corsia legata alla presenza del cantiere per le differenti tipologie di scavo considerate è illustrata nella Figura 9.

Fig.9 Rappresentazione della riduzione di corsie legata alla cantierizzazione al variare della tecnologia di scavo



Stima dei costi

Costo d'installazione

Nella Tabella 1 sono riportati i costi d'installazione ricavati a partire da informazioni Telecom Italia.

I dati sono valori medi, ottenuti dai costi relativi agli scavi per rete di accesso e di trasporto, che sono leggermente differenti tra loro. Va inoltre specificato che nel costo di installazione della tecnologia microtrench è compreso anche quello dell'infrastruttura posata; nel caso della minitrincea invece il dato risente della trattativa in corso al momento dell'effettuazione dei calcoli.

TIPOLOGIA di costo	RISPARMI PERCENTUALI rispetto allo scavo tradizionale		
	Perforazione orizzontale guidata	Microtrench	Minitrench
Costo di installazione	-29%	-78%	-64%

TAB.1

Costo del maggior tempo di percorrenza

Per questo tipo di costo, sono stati ottenuti i risultati riportati nella Tabella 2 (si noti che per i dati relativi alla portata media nelle 24 ore e alla portata ridotta sono forniti come campi di variazione, poiché i vari coefficienti di riduzione sono disponibili in letteratura come intervalli di valori e non come valore unico).

Parametro	Descrizione	VALORI CALCOLATI NEL MODELLO		
		Scavo tradizionale	Perforazione orizzontale guidata e minitrincea	Microtrench
Q_{me}	Portata media sulle 24 ore (veicoli/h)	612-1374	612-1374	612-1374
Q_r	Portata ridotta in presenza di ostacolo per singola corsia (veicoli/h)	445-633	543-759	543-759
n_r	Numero di corsie residue	2	3	3
t_a	Tempo di attesa in coda (s)	284,3	158,1	158,1
t_{atr}	Tempo di attraversamento (s)	36	36	36
t_{ic}	Tempo totale perso per veicolo (s)	320	194	194
N_v	Totale dei veicoli coinvolti dal cantiere	102816	44064	14688
T_t	Tempo totale perso per la durata del cantiere (h)	9149,5	2375,8	791,9
C_{mpt}	Costo totale associato al tempo T_t perso (milioni Lit.)	47,7	12,4	4,1

TAB.2

Di seguito è riportato il confronto dei dati di costo del maggior tempo di percorrenza Cmpt riferiti alle tecniche di scavo analizzate nel case study in esame.

TAB.3

TIPOLOGIA di costo	RISPARMI PERCENTUALI rispetto allo scavo tradizionale		
	Perforazione orizzontale guidata	Microtrench	Minitrench
Costo del maggior tempo di percorrenza	-74%	-91%	-74%

Costo del maggior consumo di carburante

I valori associati al numero di veicoli e alla perdita di tempo complessiva sono quelli già calcolati nel computo del maggior tempo di percorrenza (vedi Tabella 2). Per ciò che concerne i dati di costo per durata unitaria di funzionamento, si è considerata una potenza media del motore pari a 50kW, un consumo medio specifico di 50 g/kWh e un costo indicativo del carburante pari a 2,8 £/g (corrispondenti a circa 2100 Lire/litro). La Tabella 4 mostra i risultati complessivi del calcolo, sempre riferiti alla lunghezza totale del cantiere.

TAB.4

TIPOLOGIA di costo	RISPARMI PERCENTUALI rispetto allo scavo tradizionale		
	Perforazione orizzontale guidata	Microtrench	Minitrench
Costo del maggior consumo di carburante	-74%	-91%	-74%

Sommando i due elementi di costo (legati al maggior tempo di percorrenza e al maggior consumo di carburante), si ottiene il costo globale generato dall'incremento del traffico viario a causa della presenza del cantiere riportato nella Tabella 5.

TAB.5

TIPOLOGIA di costo	RISPARMI PERCENTUALI rispetto allo scavo tradizionale		
	Perforazione orizzontale guidata	Microtrench	Minitrench
Costo totale legato all'incremento del traffico viario	-74%	-91%	-74%

Costo di impatto ambientale legato all'utilizzo delle tecnologie

Per quanto riguarda il costo di impatto ambientale associato alle tecniche di scavo, i dati raccolti per l'esecuzione dell'analisi sono essenzialmente il consumo di combustibili delle varie macchine usate per l'esecuzione dei lavori e la composizione dei materiali utilizzati così come descritto nei processi riportati in precedenza; al riguardo si è deciso di tralasciare la fase di "posa dell'infrastruttura" in quanto considerata

troppo variabile in funzione delle condizioni specifiche di cantierizzazione. A tali informazioni sono poi associati, tramite l'utilizzo di banche dati, i consumi e le emissioni legate alla produzione dei combustibili e dei vari prodotti (bitumi, collanti, ecc.).

I risultati ottenuti sono illustrati nella Tabella 6.

TAB.6

TIPOLOGIA di costo	RISPARMI PERCENTUALI rispetto allo scavo tradizionale		
	Perforazione orizzontale guidata	Microtrench	Minitrench
Costo d'impatto ambientale legato alle tecnologie	-84%	-74%	-82%

Il costo di impatto ambientale legato allo scavo di tipo tradizionale è superiore a quello relativo alle tecniche innovative. L'origine degli impatti nelle varie tecniche è legata soprattutto al consumo complessivo di combustibili fossili, necessari per alimentare i macchinari utilizzati. Nel caso dello scavo tradizionale tale consumo è superiore di oltre 4 volte rispetto alla tecnica di scavo minitrench, di oltre 7 volte se raffrontato al consumo ottenuto con la tecnica di perforazione orizzontale guidata e di 16 volte rispetto allo scavo microtrench. Per quanto riguarda i consumi energetici, le emissioni in aria e i rilasci in acqua, la tecnica che impatta in minor misura è il microtrench, seguita dalla perforazione orizzontale guidata e dalla minitrench. Nel caso del microtrench vi è un maggior consumo di risorse naturali dovuto al cordolo in gomma utilizzato per il riempimento e considerato in questa analisi, in particolare si evidenziano i consumi di bauxite, ferro e zinco. Queste differenze si trasmettono anche nella fase di valutazione e monetizzazione degli impatti, e causano gli scostamenti dell'indice globale EPS visibili in Tabella 6. Occorre sottolineare, da ultimo, che nel metodo EPS utilizzato per la stima dei costi ambientali non sono considerati i rifiuti solidi prodotti. Questo parametro tuttavia è molto importante nel caso degli scavi, per quanto riguarda la terra che viene destinata a discarica. Dai dati di inventario emerge infatti che, per ogni metro di scavo, vengono avviati a discarica oltre 480 kg di terra nel caso dello scavo tradizionale, contro i circa 40 kg dello scavo minitrench. Questo comporta inoltre un consumo aggiuntivo di risorse, legato al prelievo di nuovo materiale (ghiaia, sabbia, oltre che bitume) da utilizzare per il ripristino. Questo ulteriore utilizzo di materie prime viene computato nell'analisi LCA. Nel caso della perforazione orizzontale guidata e del microtrench non si hanno invece rifiuti solidi di questo tipo, in quanto con la prima tecnica non si verifica asportazione di terra durante la perforazione mentre con la seconda il quantitativo asportato è trascurabile.

Costo d'impatto ambientale legato all'incremento del traffico viario

Il calcolo dell'impatto ambientale legato all'incremento del traffico è stato effettuato partendo dai dati relativi al maggior consumo di carburante dei veicoli in coda che variano a seconda della tecnologia di scavo impiegata; l'applicazione a tali quantità di una valutazione LCA e una successiva monetizzazione mediante metodologia EPS dei risultati ottenuti ha portato alla quantificazione del costo dell'impatto ambientale attribuibile alle emissioni in aria dovute alla combustione del carburante. I risultati di costo ottenuti sono presentati nella seguente tabella:

TAB.7

TIPOLOGIA di costo	RISPARMI PERCENTUALI rispetto allo scavo tradizionale		
	Perforazione orizzontale guidata	Microtrench	Minitrench
Costo d'impatto ambientale legato all'incremento del traffico	-74%	-90%	-74%

Come si vede in tabella anche in questo caso il costo ambientale legato all'incremento del traffico viario legato alla scavo tradizionale è superiore di circa tre volte rispetto alla perforazione orizzontale guidata e alla minitrincea e 9 volte rispetto al microtrench. L'origine degli impatti ed la conseguente stima dei costi è da attribuirsi al maggior tempo di percorrenza in coda dei veicoli ed al conseguente incremento di emissioni legate ai gas di scarico. Due sono i fattori che influenzano tale costo, la riduzione delle corsie e il tempo di cantierizzazione: nello scavo tradizionale si evidenzia il fatto che la strada risulta percorribile solo su una corsia per senso di marcia e la cantierizzazione si protrae per una settimana; per quanto riguarda le altre tecniche le corsie si riducono a tre, ma nel caso della perforazione orizzontale guidata e della minitrincea il tempo di cantierizzazione è di 3 giorni, contro la sola giornata impiegata nel microtrench. Sommando i due elementi di costo calcolati si ottiene il costo d'impatto ambientale riportato in Tabella 8.

TAB.8

TIPOLOGIA di costo	RISPARMI PERCENTUALI rispetto allo scavo tradizionale		
	Perforazione orizzontale guidata	Microtrench	Minitrench
Costo totale d'impatto ambientale	-75%	-90%	-74%

Analisi dei risultati

Nella tabella sono espressi, in termini percentuali, i risparmi legati all'utilizzo di tecniche innovative rispetto allo scavo a cielo aperto, sia per componente di costo, sia per quanto riguarda il costo totale. Si noti che questa

è l'informazione più importante, poiché i valori assoluti sono rappresentativi solo se associati alle ipotesi del case study; le percentuali di confronto permettono, invece, di avere un'indicazione sulle differenze di costo associate all'utilizzo delle varie tecniche a parità di condizioni iniziali.

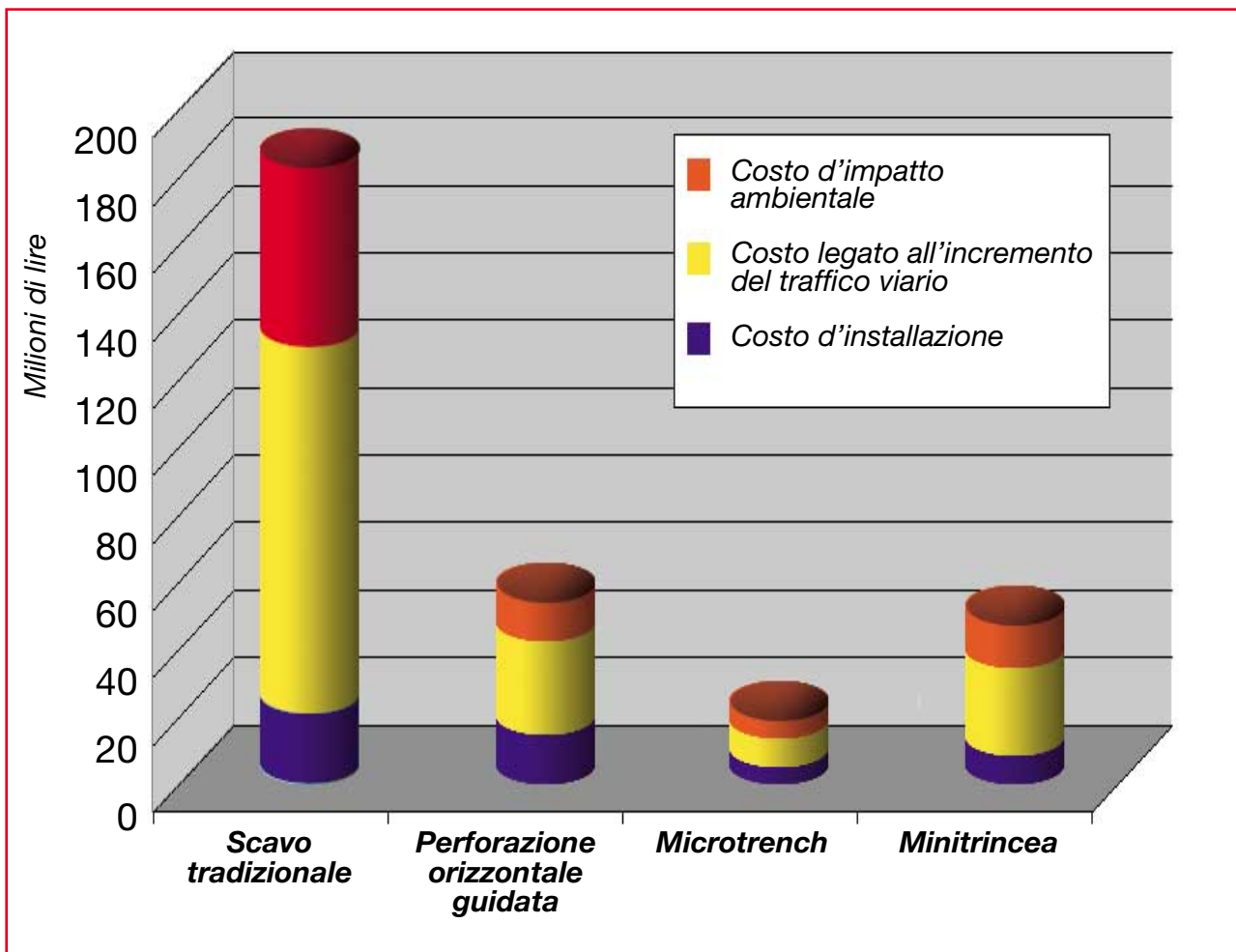
TAB.9

TIPOLOGIA di costo	RISPARMI PERCENTUALI rispetto allo scavo tradizionale		
	Perforazione orizzontale guidata	Microtrench	Minitrench
Costo di installazione	-29%	-78%	-64%
Costo legato all'incremento del traffico viario	-74%	-91%	-74%
Costo di impatto ambientale	-75%	-90%	-74%
COSTO TOTALE	-69%	-90%	-73%

In termini assoluti, si osserva che lo scavo a cielo aperto risulta 3 volte più costoso rispetto alla perforazione orizzontale guidata, quasi 4 volte rispetto alla minitrincea e circa 10 volte rispetto al microtrench. Come è visibile dal grafico seguente, il costo legato all'incremento del traffico viario ha un impatto notevole sul costo totale per tutte le tecniche di scavo considerate. In particolare esso incide notevolmente per la tecnologia di scavo a cielo aperto in quanto l'impatto sul traffico è maggiore: la strada risulta percorribile solo su una corsia per senso di marcia e di conseguenza si può prevedere la formazione della coda in ampie fasce della giornata, con maggiore perdita di tempo sopportata dall'utente e maggior consumo di carburante. Le altre tipologie di tecniche, invece, rendono disponibili complessivamente tre corsie e, quindi, la formazione di coda riguarda essenzialmente le ore di punta: questo fatto si riflette in un impatto minore, anche se pur sempre considerevole, sul costo totale. Anche per quanto riguarda il costo di impatto ambientale, la componente predominante è rappresentata dalle emissioni associate all'incremento del traffico viario. Le condizioni già citate influenzano pesantemente lo scavo tradizionale mentre la discriminante principale tra le tecniche innovative è legata al tempo di cantierizzazione. Si ricorda che all'interno di questa componente non sono stati contemplati i costi legati all'impatto visivo e all'inquinamento acustico. Occorre evidenziare che i costi sociali e ambientali, essendo valori "virtuali", non sarebbero propriamente sommabili ai costi attualmente sostenuti dall'azienda, quali per esempio quelli di installazione. Si ritiene tuttavia utile effettuare questa addizione allo scopo di avere un indicatore di costo unico che permetta di aumentare la consapevolezza del gestore sulle esternalità associate alle proprie attività.

Per ciò che riguarda, infine, il costo di installazione si nota come, mediante l'utilizzo di tecniche innovative tipo no-dig (a parità di parametri progettuali e facendo una valutazione complessiva dell'intervento), si ottiene un risparmio rispetto alla realizzazione di attraversamenti con scavi a cielo aperto, sui quali incide pesantemente l'esecuzione dei ripristini ambientali delle zone interessate dai lavori (demolizione e ripristino della pavimentazione stradale, maggiore incidenza della manodopera, maggiore incidenza del costo di scavo in corrispondenza di roccia o di determinate tipologie di terreno). In particolare ciò si riflette maggiormente nella tecnologia minitrincea e in quella microtrench per le quali il costo di installazione ha una incidenza relativamente bassa sul costo totale; si ricorda però che i campi di applicazione di tali tecniche sono ancora limitati. Va detto, inoltre, che nello scavo a cielo aperto il costo di installazione aumenta notevolmente all'aumentare della profondità dello scavo, mentre nelle altre tecniche rimane costante.

Fig.10 Confronto delle componenti del costo totale per diverse tecniche di scavo



CONCLUSIONI

È stato presentato un modello di valutazione tecnico/economica che, tenendo conto degli effetti della cantierizzazione, consente di stimare le esternalità associate alle tecniche impiantistiche; tale modello è stato applicato a un case study rappresentativo di una situazione media della realtà di Telecom Italia.

In particolare sono stati esaminati il costo di installazione, il costo legato all'incremento del traffico viario e il costo di impatto ambientale su quattro differenti tipologie di tecniche impiantistiche: scavo a cielo aperto, perforazione orizzontale guidata, microtrench e minitrincea. Lo scopo del modello è di aumentare la consapevolezza del gestore sulle esternalità associate alle proprie attività; tale operazione rappresenta uno dei passi fondamentali per un'azienda che consideri l'ambiente come una variabile strategica di business. In generale è possibile osservare come le esternalità (costo legato all'incremento del traffico viario e costo d'impatto ambientale) rappresentino un valore tutt'altro che trascurabile se rapportato ai costi di installazione, gli unici realmente sostenuti dal gestore. In particolare i costi sociali e ambientali incidono notevolmente per la tecnologia di scavo a cielo aperto, in quanto la strada risulta percorribile solo su una corsia per senso di marcia e, di conseguenza, si può prevedere la formazione di code durante buona parte della giornata, con maggiore perdita di tempo sopportata dall'utente, maggior consumo di carburante e maggiori emissioni in aria. Le altre tecniche, invece, rendono disponibili complessivamente tre corsie e, quindi, la formazione di coda si verifica solo nelle ore di punta.

Si ricorda che le esternalità sono state generate da modelli previsionali, quindi, pur essendo indicative dei risparmi economici ottenibili con l'utilizzo di tecniche innovative, non sono da considerare "esatte" in valore assoluto, ma utili per confronti diretti. Considerando, inoltre, che da diversi settori dell'opinione pubblica e delle istituzioni, sia nazionali che internazionali, si stanno avanzando richieste circa l'inserimento delle esternalità all'interno dei valori di mercato dei "beni", tali risultati forniscono un'indicazione preziosa sull'entità dei costi che un'azienda, in un futuro prossimo, potrebbe trovarsi a sostenere di fronte alla necessità di procedere a lavori di tipo impiantistico.

Nella presente analisi, infine, sono state tralasciate alcune componenti di costo di difficile valutazione attraverso modelli previsionali, quali il costo di tipo sociale sopportato dalla collettività (costo legato a diseconomie esterne, cioè ad interferenze tra il cantiere e le attività economiche della zona considerata) e il costo di rischio legato all'impiego della tecnologia di scavo considerata (costo derivante da danni procurati a persone e cose).

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Chirulli, A. Caruso, Un modello di analisi tecnico-economica nel confronto tra directional drilling e scavo a cielo aperto, Atti del Convegno "Stato dell'Arte e nuove possibilità applicative del Directional Drilling", Bari, 11-12 maggio 1998.
- [2] P. Colonna, O. Tragni, Il directional drilling: la tecnica, i campi di impiego, le nuove possibilità applicative, Atti del Convegno "Stato dell'Arte e nuove possibilità applicative del Directional Drilling", Bari, 11-12 maggio 1998.
- [3] Norma Tecnica sulle perforazioni orizzontali guidate, Telecom Italia, Ediz. aprile 2001.
- [4] EPS-Calculations, Environmental Priority Strategies, Federation of Swedish Industries, N G Westerlund, september 1995.



<http://wireline.telecomitalia.it>