

# **Metodologie d'indagine sulle strutture finalizzate alle demolizioni con esplosivo**

*Atti del 3° Convegno Nazionale EXPLO 2005 di Esplosivistica Generale  
(Castelmaggiore ITA – 11/2005)*

**di Massimo Viarengi (Studio Viarengi) e Stefano Scaini (Dexplo S.r.l.)**

## **Premessa**

La richiesta del mercato delle demolizioni porta verso una specializzazione delle imprese che sempre più sono chiamate ad operare in spazi angusti, nel cuore dei centri abitati, ed in aderenza ad altri edifici.

In questo panorama la demolizione con esplosivo, per continuare ad essere competitiva rispetto alla tecniche di demolizione tradizionali a mezzo di escavatori dotati di braccio da demolizione, deve rispondere a diverse esigenze: ridurre il più possibile i costi e i tempi dell'intervento, garantire l'efficacia del metodo e la sicurezza dei lavoratori durante le operazioni di demolizione ed infine non generare disturbi o impatti ambientali alcuni.

Ogni processo di demolizione con esplosivo, sia esso un'implosione o un ribaltamento, ha lo scopo di produrre una variazione drastica negli stati tensionali della struttura oggetto dell'intervento portandola al collasso secondo un cinematismo ben prestabilito; appare quindi evidente che ogni intervento di demolizione con esplosivo per rispondere ai requisiti di competitività sopra elencati debba partire da una vera e propria presa di contatto con la struttura, in modo da avere chiare le risorse tensionali che la struttura è in grado di sopportare in fase di un eventuale indebolimento, riducendo drasticamente le criticità che possono presentarsi nella fase esecutiva.

Il risultato di questa presa di contatto si traduce nella maggior parte dei casi in un'attenta analisi statica effettuata sulla base di importanti parametri mediante una raccolta sistematica di tutte le informazioni, nonché dei progetti riguardanti il manufatto da demolire oppure, laddove risulti impossibile reperire i progetti originali, con metodi indiretti mediante una campagna di indagini conoscitiva sul manufatto demolire.

Tra i metodi di indagine che si possono utilizzare, è frequente l'impiego della tecnologia georadar, che nel campo delle demolizioni consente di individuare le strutture portanti del manufatto edilizio da demolire e l'esatta disposizione dei ferri di armatura presenti nelle strutture in calcestruzzo armato, ciò in modo veloce ed economico.

I dati acquisiti con questo metodo d'indagine vengono utilizzati per scegliere la miglior tecnica demolitiva applicabile, consentendo un risparmio sui tempi e sui costi di demolizione, conseguentemente ad una riduzione delle incertezze legate al cinematismo di caduta.

## **Fasi del processo di demolizione con esplosivo**

La demolizione è in linea di principio un atto volontario mirato alla risoluzione di un problema legato al manufatto da demolire, sia esso un ingombro, un pericolo, o inserito in una trasformazione e riqualificazione d'area, come nel caso oggetto di studio.

I più importanti parametri che intervengono nelle fasi progettuali di una demolizione sono:

- I tempi di esecuzione dell'intervento;
- I costi legati all'impiego di mezzi, attrezzature e manodopera;

- La salvaguardia del contesto nel quale si inserisce il manufatto da demolire;
- La riduzione dei disturbi prodotti dall'intervento di demolizione;
- La sicurezza e la tutela dei soggetti che vengono coinvolti attivamente e passivamente nella demolizione.

Il progetto di una demolizione dovrà essere costituito da una successione temporale di operazioni atte al raggiungimento degli obiettivi sopra citati, nel modo qualitativamente migliore e maggiormente efficace.

Tale processo viene dedotto da un modello operativo che ha lo scopo di individuare quali siano le fasi da seguire per l'esecuzione dei lavori e quali siano le loro interazioni.

I diversi livelli di un processo demolitivo con esplosivo possono essere suddivisi in tre fasi:

- Pre-progettuale;
- Progettuale;
- Operativa.

#### Fase pre-progettuale

Prima di scegliere il metodo di demolizione da adottare è necessario acquisire informazioni sul sito (contesto dell'intervento) e sulla tipologia del manufatto da demolire.

Non è possibile fornire un elenco esaustivo delle operazioni da eseguire per una completa caratterizzazione del manufatto da demolire e del contesto nel quale esso è inserito ma si dovrà di volta in volta analizzare il caso oggetto dell'intervento.

L'analisi dell'ambiente esterno al manufatto deve essere rivolta alla corretta valutazione e quantificazione degli spazi che lo circondano, mettendo in evidenza eventuali vincoli architettonici o altri punti sensibili che potrebbero essere danneggiati o disturbati dalla demolizione.

Il contesto nel quale è inserito il manufatto andrà analizzato in modo da individuare la presenza di tutte le costruzioni fuori terra ed eventualmente interrato, come parcheggi, serbatoi e sottoservizi in genere.

Il risultato di queste analisi è una mappatura dei punti sensibili e una quantificazione degli spazi utili disponibili per l'allestimento del cantiere.

In questa fase si deve prevedere anche la raccolta sistematica di tutte le informazioni e di tutto il materiale che possa interessare il manufatto da demolire; per edifici particolarmente datati, ove può essere difficile reperire i progetti originali, con conseguente difficoltà di ricostruzione delle condizioni statiche originarie, si dovrà prevedere una campagna di indagini conoscitiva che porti alla definizione dell'età dello stabile, delle dimensioni, delle masse, dei materiali impiegati nella costruzione, della presenza di amianto, degli elementi portanti, degli elementi prefabbricati, dei tipi di armatura utilizzati ed infine, ma non ultimo per importanza, della posizione e armatura dei corpi scala e ascensori, in quanto realizzati con criteri diversi dalle restanti parti dell'edificio.

Le informazioni appena elencate si traducono in un'attenta analisi strutturale globale dell'edificio e di tutti gli elementi che lo compongono.

La fase pre-progettuale deve portare all'acquisizione di tutte le informazioni sul sito e sul manufatto da demolire, caratterizzando il contesto della demolizione per il quale andrà definito il metodo migliore da utilizzare.

#### Fase progettuale

Una volta acquisiti i dati necessari alla demolizione, si passa alla scelta della tecnica da utilizzare; tale scelta dipende da una serie di fattori che interagiscono tra di loro portando alla definizione del miglior metodo disponibile in funzione dei costi e dei benefici legati al caso in esame.

Nella fase progettuale verranno individuate: le attrezzature e i mezzi da impiegare, i tempi e i

costi necessari alla realizzazione dell'intervento demolitivo, le operazioni di bonifica (ove necessarie), le misure di sicurezza e di tutela da adottare in tutte le sequenze lavorative e gli impatti ambientali prodotti dall'intervento.

In particolare il progetto di una demolizione con esplosivo consisterà in una serie di elaborati e relazioni tecniche che costituiscono il progetto vero e proprio della demolizione.

In tali relazioni verranno scelte le tecniche di demolizione, il dimensionamento della volata ed il piano esecutivo dei lavori.

Nel progetto verranno previste la cinematica del crollo, le pressioni in aria, le sollecitazioni sismiche causate sia dalla detonazione delle cariche, sia dall'impatto delle macerie al suolo sugli oggetti circostanti, nonché l'area occupata dalle macerie ad abbattimento avvenuto.

La cinematica di caduta deve essere scelta fra quelle ritenute possibili in modo da minimizzare gli effetti vibratori dell'impatto della struttura con il suolo.

Se nelle vicinanze del manufatto da demolire si trovano altre strutture, l'intervento di demolizione dovrà lasciarle indenni, prevedendo nel progetto i possibili corridoi di caduta del manufatto e la direzione di caduta migliore.

Per quanto riguarda il dimensionamento della volata, dovrà essere eseguito il calcolo delle cariche e della loro disposizione, della quantità di materiale da minare e dei tempi di detonazione per ottenere la direzione di caduta voluta.

In pratica, si definiscono gli elementi portanti da rimuovere con le cariche di esplosivo per rendere la struttura labile in modo che in essa si instauri un cinematisimo che porti al collasso la costruzione; questa fase dipenderà dagli studi statici sugli elementi portanti e dalla tipologia costruttiva dell'edificio.

Le demolizioni, soprattutto quelle in ambito urbano, comportano una serie di problematiche che il progettista deve risolvere per ottenere dalle autorità competenti i permessi necessari ad eseguire l'intervento di demolizione.

L'edificio dovrà cadere nella direzione o nel perimetro voluto senza arrecare danni nelle vicinanze, possibilmente senza un eccessivo inquinamento acustico e senza dare la possibilità ad alcuno di lamentare danni inesistenti o comunque precedenti all'intervento.

Nel progetto dovranno essere altresì inseriti eventuali piani di protezione o evacuazione, definendo un'area di sicurezza entro la quale raccogliere tutti gli addetti ai lavori e tutte le persone presenti al momento della detonazione e del crollo dell'edificio.

Considerati i molteplici aspetti di pubblica sicurezza ed il grado di rischio connesso con le operazioni che comportano l'utilizzo di esplosivo, nella fase progettuale verranno descritte tutte le precauzioni durante il trasporto, l'impiego e il brillamento degli esplosivi, fornendo piani di lavoro dettagliati e le prescrizioni da adottare secondo le vigenti normative in materia.

### Fase operativa

La fase operativa consiste nell'allestimento del cantiere e nell'esecuzione di tutte le operazioni individuate e quantificate nelle fasi precedenti, con lo scopo di portare al risultato voluto. Alla demolizione vera e propria seguiranno tutte le operazioni di rimozione, smaltimento e recupero dei materiali di risulta.

### **Scopo e criteri di scelta delle indagini**

Appare da subito evidente che la buona riuscita di un intervento di demolizione dipenda essenzialmente dal numero e dalla precisione delle informazioni ricavabili nella fase pre-progettuale sul manufatto da demolire e sul contesto nel quale esso è inserito.

Le indagini nella demolizione con esplosivo consentono dunque di ricavare i parametri che influenzano un progetto di demolizione e che saranno fondamentali nelle successive fasi, progettuale ed operativa, per il dimensionamento del piano di tiro, per la definizione degli elementi portanti da rimuovere con esplosivo, per la previsione della cinematica del manufatto durante il crollo e per la

riduzione degli impatti ambientali.

I principali parametri da ricercare per una corretta progettazione di una demolizione con esplosivo possono essere brevemente elencati come:

- Geometrie della struttura: peso, altezza e baricentro;
- Stato di degrado del manufatto e degli elementi portanti;
- Materiali di costruzione e caratteristiche di resistenza;
- Dimensioni degli elementi minati;
- Tipologia di armatura presente nelle parti minate;
- Schemi costruttivi dei vani scale ed ascensori;
- Condizioni al contorno;
- Distanza da altri manufatti.

I metodi d'indagine che possono essere utilizzati per la ricerca dei suddetti parametri devono essere il più possibile economici e precisi, in modo da non influenzare il costo dell'intervento. I criteri di scelta delle indagini che possono essere applicate ad una demolizione con esplosivo devono essere ponderati in modo da:

- Individuare i parametri di progetto più importanti in funzione della tecnica di demolizione utilizzata;
- scegliere le metodologie d'indagine più appropriate in funzione della grandezza da misurare;
- procedere per fasi, elaborando i dati dopo ogni singola fase;
- approfondire i dati dubbi ed anomali nonché gli aspetti critici mediante l'uso di metodologie d'indagine diverse da quelle già applicate;
- evitare di voler dimostrare qualcosa, ma "ascoltando" le risposte dell'oggetto delle indagini.

### **Classificazione delle indagini**

Le indagini possono essere classificate, secondo il criterio di suddivisione, tra metodi che prevedono la distruzione del mezzo indagato (indagini invasive) e quelli che consentono di preservarlo (indagini non invasive).

I primi possono essere utilizzati in presenza di strutture o impianti disabitati, mentre i secondi possono essere utilizzati anche nei casi in cui lo stabile da demolire, al momento della progettazione dell'intervento, risulti ancora abitato.

<i>Indagini invasive</i>	<i>Non invasive</i>
Scassi delle murature	Ricerche bibliografiche
Scavi per sottoservizi	Georadar
Prove su campioni prelevati dalle murature	Rilievi topografici
	Prove di resistenza PLT

Un altro criterio di classificazione suddivide le indagini in:

- indagini puntuali: possono essere utilizzate quando si ha la necessità di indagare un particolare elemento strutturale presente nel manufatto da demolire, prelevando per esempio un campione da sottoporre a prove di classificazione meccaniche, oppure quando si ha la necessità di acquisire alcune informazioni a campione sulla struttura (disposizione dei ferri di armatura in alcuni elementi portati da minare);
- indagini estese: possono essere utilizzate quando si ha la necessità di ricavare molte informazioni sul manufatto per ricostruire, ad esempio, uno schema statico strutturale non ripetitivo, per

determinare le riserve tensionali di uno stabile ai fini dell'indebolimento o per ricercare tutti i sottoservizi presenti nell'area di caduta nel manufatto da demolire.

### **Principio di funzionamento del Georadar**

Tra i metodi di indagine non invasivi che si possono utilizzare nel settore delle demolizioni è frequente l'impiego della tecnologia georadar. I rilievi georadar o GPR (Ground Probing Radar) si basano sulla risposta di un segnale elettromagnetico, di carattere impulsivo e ad alta frequenza, che viene inviato da un'antenna trasmittente. La presenza di discontinuità di proprietà elettromagnetiche del materiale provoca fenomeni di rifrazione, riflessione e diffrazione dell'energia elettromagnetica incidente su tale discontinuità. In generale si analizza la risposta dell'onda elettromagnetica, la quale viene riflessa in corrispondenza delle discontinuità del mezzo per poi ritornare in superficie, dove viene captata da un'antenna ricevente.

La frequenza del segnale inviato dalla strumentazione radar è compresa tra 10 MHz e 2.5 GHz.

In geofisica ambientale il georadar è utilizzato per l'individuazione di sottoservizi e strutture antropiche sepolte (cisterne interrato, fondazioni, etc.); le applicazioni principali del georadar interessano anche le indagini archeologiche e la valutazione dell'integrità strutturale di elementi architettonici. In questo contesto il georadar viene utilizzato molto spesso per indagare gli elementi portanti di una struttura soggetta a demolizione, consentendo la ricostruzione dei ferri di armatura, diametro e disposizione, all'interno del cls.

Il principio di funzionamento del georadar differisce da quello del radar convenzionale in quanto il mezzo di trasmissione non è più l'aria ma muro o struttura portante, la risoluzione è in genere decimetrica o centimetrica, e il campo di misura è limitato ad alcuni metri di profondità.

Il georadar è un dispositivo ad ampia banda che può operare nel campo di frequenza compreso tra 10 e 2500 MHz, ed è caratterizzato dall'emissione di segnali che possono essere assimilati a impulsi aventi in dominio di tempo un'ampiezza  $\tau$  di qualche ns.

L'intervallo di tempo tra l'impulso di emissione e l'arrivo della riflessione da un bersaglio dipende dalla profondità del bersaglio e dalla velocità di propagazione del mezzo.

Nella schematizzazione più semplice un sistema georadar si compone di:

- una sorgente impulsiva, con impulsi di  $1\div 2$  ns di durata, ampiezza di picco di 100 V e frequenza di ripetizione degli impulsi variabile da 30 a 100 kHz;
- una o più coppie di antenne con funzione di trasmettitore e ricevitore;
- un convertitore analogico/digitale ( 8- 16 bit);
- un sistema di memorizzazione su supporto magnetico dei segnali numerici e dispositivi di elaborazione dei segnali e di interfaccia grafica per la rappresentazione su schermo dei segnali.

La rappresentazione dei dati acquisiti avviene normalmente su un diagramma tempi-ampiezze del segnale ricevuto dal georadar.

Scorrendo l'antenna sul muro lungo una direzione prestabilita e accostando i diversi diagrammi tempi-ampiezze per i successivi segnali, si ottengono delle sezioni georadar, detti radargrammi, in cui le ampiezze di riflessione sono rappresentate in funzione del tempo di andata e ritorno (twt) e della posizione dell'antenna lungo il profilo di acquisizione.



Figura 1: Passaggio dell'antenna su di una parete portante e restituzione grafica del segnale.

Durante l'acquisizione gli impulsi sono ripetuti con frequenza tra 30 e 100 kHz. Le tracce rilevate dall'antenna ricevente sono mediate prima di essere registrate: in tal modo ogni singola traccia registrata è il risultato di un'operazione di stacking, che ha come effetto l'aumento del rapporto segnale/rumore.

In acquisizione si opera inoltre impiegando dei filtri in dominio di frequenza (filtri passa banda), con banda passante larga abbastanza da non perdere segnale utile. Successivamente, è possibile procedere ad un ulteriore filtraggio digitale sulle tracce acquisite.

Opportune procedure di elaborazione dei dati consentono di passare dalle sezioni radar grezze a immagini che meglio localizzano gli oggetti sepolti (tubazioni o ferri)

Un oggetto di forma e dimensioni tali da provocare la diffrazione del segnale, presenta nel radargramma una risposta dalla caratteristica forma a iperbole rovesciata, detta iperbole di diffrazione (Figura 2). Corpi che forniscono tipicamente una simile risposta sono, tra gli altri, le condotte sepolte.

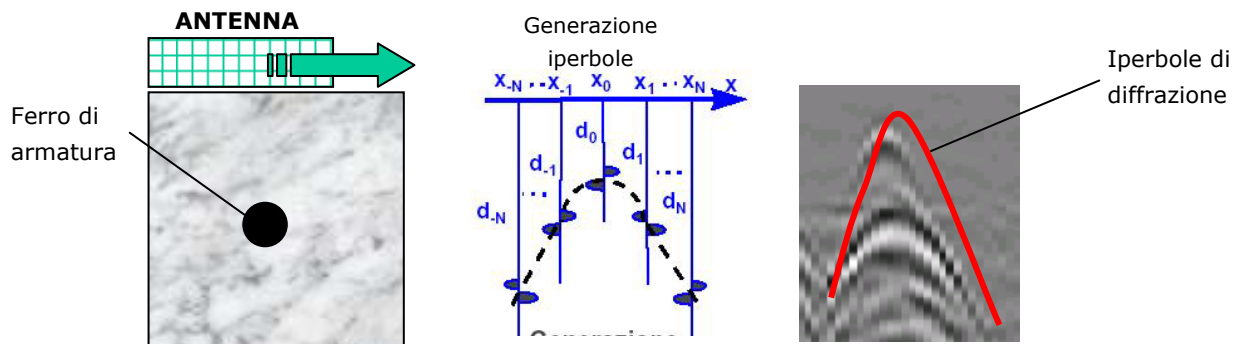


Figura 2: Schematizzazione di rinvenimento di un ferro di armatura in cls.

Si ottiene un'iperbole perché il fenomeno della diffrazione consente di rilevare un segnale, anche quando l'antenna ricevente non è posta sulla verticale dell'oggetto.

Tale segnale percorre una distanza pari a  $2d = 2\sqrt{x^2 + z^2}$ ; dove  $z$  è la profondità dell'oggetto sepolto e  $x$  la distanza, misurata in superficie, tra l'oggetto e l'antenna. Il tempo di andata e ritorno del segnale diffratto è quindi:

$$t = 2 \frac{\sqrt{x^2 + z^2}}{v}$$

Tale equazione rappresenta, nel piano  $(x, t)$ , un'iperbole avente vertice nel punto  $(0, 2z/v)$  e asintoti  $t(x)=\pm 2x/v$ .

Se è possibile individuare un'iperbole di diffrazione nei dati sperimentali, è anche possibile, per via grafica, stimare la profondità dell'oggetto che l'ha prodotta e la velocità di propagazione del mezzo. Si osserva che velocità di propagazione decrescenti corrispondono a iperboli più strette.

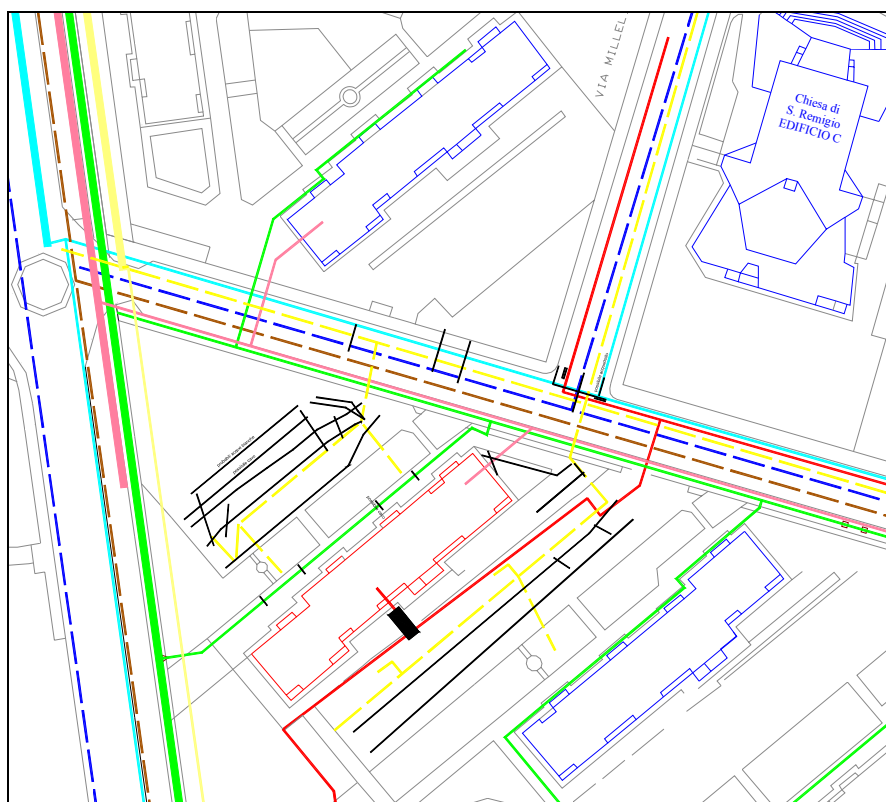
### **Vantaggi del Georadar**

Il georadar applicato sulla struttura in demolizione consente una ricostruzione affidabile ed economica delle armature presenti all'interno delle parti strutturali del manufatto da demolire, fornendo al progettista i parametri necessari per ricostruire la statica del manufatto con i seguenti vantaggi:

- Quantificare il numero e la posizione degli elementi portanti da rimuovere;
- Ridurre le incertezze nel crollo;
- Ridurre la massima carica per ritardo;
- Contenere i disturbi prodotti dall'intervento: vibrazioni, rumore e proiezioni balistiche.

Il georadar trova anche applicazione nella ricerca di tutti i sottoservizi non visibili presenti e posti all'interno dell'area di caduta del manufatto (Figura 3), consentendo in tal modo di:

- Integrare e confermare le informazioni ricavate dagli Enti gestori;
- Individuare la posizione e la profondità di sottoservizi non segnalati;
- Prevedere la realizzazione di opportuni letti di caduta atti a preservare i sottoservizi rinvenuti.



*Figura 2: Mappatura di sottoservizi presenti nell'intorno di un edificio da demolire ottenuta mediante indagine georadar.*