



DEMOLIZIONI CONTROLLATE E TECNICHE DI INDUZIONE DI CROLLI NELLE STRUTTURE

M. VIARENGHI¹, S. SCAINI²

¹ STUDIO VIARENGHI “ingegneria al servizio delle demolizioni”, Valenza AL

² DEXPLO S.r.l. “dealing with explosives 360°”, Parma

SOMMARIO

Attualmente le tecniche in uso per la demolizione di strutture complesse, come fabbricati industriali o edifici, possono essere suddivise principalmente in tre grandi categorie: le tecniche di demolizione convenzionali con escavatori muniti di pinze e frantumatori, le tecniche di demolizione non convenzionali con esplosivo e gli smontaggi strutturali.

Apparentemente un intervento di distruzione di una struttura sembrerebbe più semplice della sua costruzione; in realtà accade che la mancanza di dati certi sul manufatto da demolire, la presenza di limitati spazi al contorno e la complessità dell'interpretazione di uno schema strutturale preesistente, rendano un intervento demolitivo alquanto complesso.

Infatti, anche per le costruzioni come nella vita è applicabile il detto “esiste un modo ben standardizzato di nascere ed infiniti modi di morire”.

Indipendentemente dalle tecnologie utilizzate, un intervento di demolizione eseguito a regola d'arte deve rispondere a diverse esigenze progettuali ed operative: ridurre il più possibile i costi e i tempi dell'intervento, garantire la sicurezza e la tutela dei lavoratori durante le operazioni di demolizione, non generare disturbo o impatto ambientale di alcun tipo ed ottimizzare il recupero delle macerie.

Appare quindi evidente che ogni intervento di demolizione debba partire da una vera e propria “presa di contatto” con la struttura; il risultato di questa “presa di contatto” si traduce nella maggior parte dei casi in un'attenta analisi statica strutturale del manufatto oggetto della demolizione.

ABSTRACT

At the present time the techniques in use for the demolition of complex structures, like industrial plants or buildings, can be subdivided mainly in three great categories: the conventional techniques of demolition with excavators by cutters and crushers, the not conventional techniques of demolition with explosive and the structural dismantling.

Apparently, a work of destruction of a structure would seem simpler of its construction; in truth it happens that, the lack of sure data on the handmade object to demolish, the presence of limited spaces to the contour and the complexity of the pre-existent interpretation of a structural outline, render somewhat complex a demolition intervention; in fact, also for the constructions as in the life, it's applicable the saying "very exists a standardized way to be

born and infinite ways to die”.

Independently from the involved technologies, a “state of the art” work of demolition must answer to planning stages and operating requirements: to reduce costs and the times of the work, to guarantee the emergency and the safety of the workers during the demolition operations, not to generate any disturbance or environmental impact and to optimize the recovery of rubble.

It's obvious that every work of demolition must take off from one true and own "taken of contact" with the structure; the result of this "taken of contact" is translate in the greater part of the cases in a careful structural static analysis of the handmade object of the demolition.

1. FASI DEL PROCESSO DEMOLITIVO

La demolizione è costituita da una successione temporale di operazioni atte al raggiungimento di un risultato voluto nel modo qualitativamente migliore ed efficace ossia, a seconda dei casi, la demolizione parziale o totale, lo smontaggio, o la decostruzione di un manufatto costruito secondo i principi della scienza e tecnica delle costruzioni.

L'intero processo demolitivo viene dedotto applicando uno schema che ha lo scopo di individuare le fasi operative e progettuali da seguire per l'esecuzione dell'intervento e definire in modo completo le loro interazioni.

Indipendentemente dalla tipologia di manufatto da demolire, i diversi livelli di progettazione di un intervento di demolizione sono esemplificati nel diagramma della Figura 1 e possono essere suddivisi in tre fasi: fase pre-progettuale; fase progettuale e fase operativa.

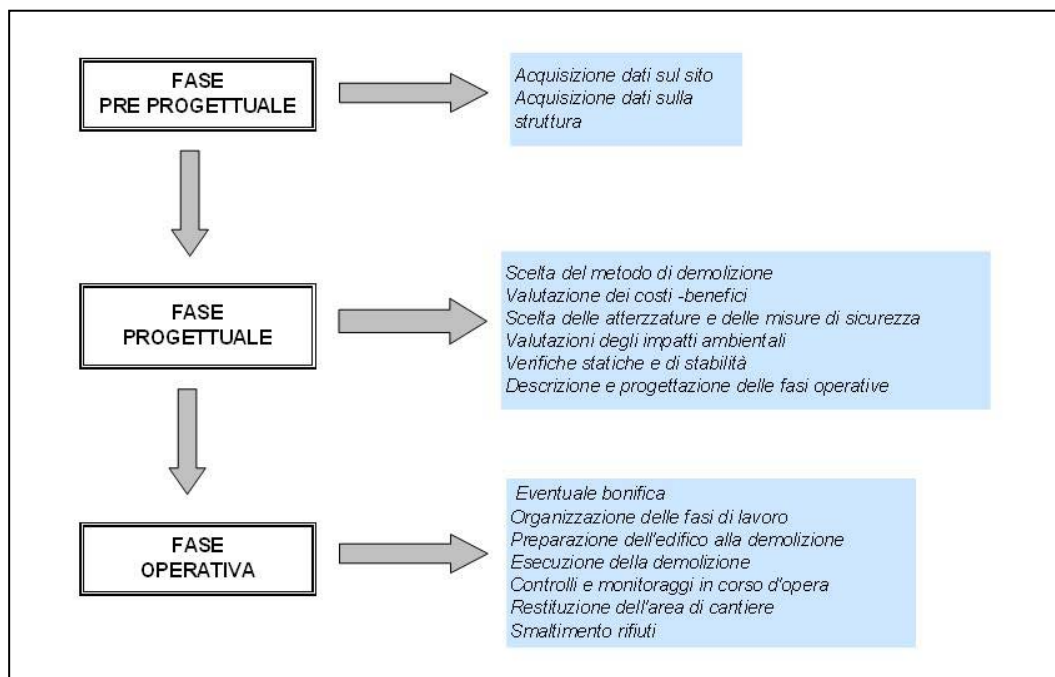


Figura 1. Fasi del processo di demolizione.

1.1. Fase pre-progettuale

Ancor prima di scegliere il metodo di demolizione da adottare sarà necessario acquisire informazioni sul sito (contesto dell'intervento) e sul manufatto da demolire.

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 (strade, proprietà private, sottoservizi ecc..) che potrebbero essere danneggiati o disturbati dalla demolizione.

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

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 strutture particolarmente datate, 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 sempre realizzati con criteri diversi dalle restanti parti strutturali.

Le informazioni appena elencate si traducono in un'attenta analisi strutturale globale del manufatto da demolire 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.

1.2. Fase progettuale

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 loro portando alla definizione del miglior metodo disponibile in funzione dei costi e dei benefici legati al caso in esame e delle tecnologie applicabili.

I più importanti parametri che interverranno nella scelta del metodo della demolizione sono:

- i tempi di esecuzione dell'intervento;
- lo schema statico della struttura da demolire;
- i costi legati all'impiego di mezzi, attrezzature e manodopera;
- il contesto nel quale si inseriscono i manufatti da demolire;
- i disturbi prodotti dall'intervento di demolizione;
- la sicurezza e la tutela degli addetti ai lavori.

Nella fase progettuale verranno individuate: le attrezzature ed i mezzi da impiegare, siano essi mezzi meccanici o mezzi chimici (esplosivi, malte, etc.), le operazioni di bonifica (ove necessarie), le misure di sicurezza e di tutela da adottare in tutte le sequenze lavorative, gli impatti ambientali prodotti dall'intervento ed il piano di smaltimento/recupero dei rifiuti prodotti.

1.3. Fase operativa

La fase operativa consiste nell'allestimento del cantiere e nell'esecuzione di tutte le operazioni individuate e quantificate nelle fasi precedenti, ed ha lo scopo di portare al risultato voluto che, a seconda dei casi, può essere una demolizione totale, una demolizione parziale o un semplice smontaggio.

Alla demolizione vera e propria seguiranno tutte le operazioni di rimozione, smaltimento e recupero delle macerie.

2. TECNICHE DI DEMOLIZIONE

Le tecniche attualmente in uso per la demolizione di strutture in c.a. come fabbricati capannoni o edifici possono essere suddivise in due grandi categorie:

- Tecniche di demolizione convenzionali: demolizioni meccaniche e smontaggi
- Tecniche di demolizione non convenzionali: demolizioni con esplosivi, malte espansive e water infusion.

La scelta delle tecnica da utilizzare dipenderà, a seconda del caso in studio, dalla mole di dati ricavati durante la fase pre-progettuale ed elaborati/interpretati nella fase progettuale.

2.1. Demolizioni Meccaniche

Queste tecniche utilizzano per la demolizione escavatori cingolati, visibili in Figura 2, muniti di martelloni demolitori, pinze e cesoie montati su bracci idraulici da demolizione; l'escavatore viene affiancato alla struttura da demolire ed inizia le operazioni di smantellamento delle parti strutturali e non, mantenendo un'opportuna distanza dalle pareti perimetrali del manufatto per non essere nell'area di caduta di eventuali detriti.

L'ordine da tenersi nelle demolizione in genere è l'inverso di quello utilizzato nella costruzione dell'edificio in modo da evitare problemi di instabilità e crolli imprevisti durante la lavorazione.

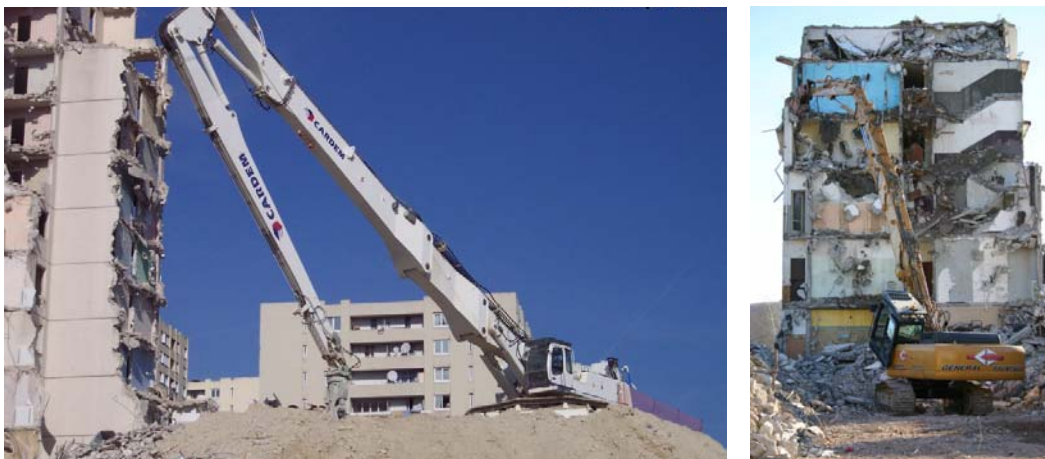


Figura 2. Esempi di escavatori speciali dotati di braccio da demolizione.

Nel caso più semplice di un edificio multipiano a travi e pilastri l'escavatore procederà dall'alto al basso, frantumando gli elementi portanti (travi, pilastri, solette e rampe delle scale) e facendo cadere a terra le macerie risultanti.

Il braccio dovrà avere un'altezza che permetta di raggiungere le massime quote operative mantenendo l'operatore ed il mezzo a distanza di sicurezza dall'edificio in demolizione.

2.2. Smontaggi strutturali

In particolari contesti operativi, laddove non sussistano gli spazi operativi per la movimentazione dei mezzi d'opera oppure quando sia necessario preservare alcune parti strutturali di un manufatto (un edificio con le facciate soggette a vincolo architettonico - Figura 3), si procede ad una vera e propria decostruzione strutturale, operando direttamente con i mezzi d'opera posti al di sopra della struttura.

La demolizione dei solai e delle strutture portanti verticali avviene in genere mediante

l'utilizzo di miniescavatori portati in quota con autogrù ed operanti direttamente sui solai della struttura, nell'eventualità preventivamente puntellati in funzione del peso dei mezzi d'opera.

In questi contesti è frequente l'uso di tecniche demolitive mediante taglio a disco o filo diamantato per la demolizione delle parti strutturali in aderenza a quelle da preservare; gli elementi sezionati vengono poi calati a terra a mezzo di attrezzature per sollevamento.

Il materiale di risulta viene allontanato a mezzo di opportuni scivoli oppure utilizzando, laddove presenti ed utilizzabili, i vani ascensore.



Figura 3. Esempio di smontaggio delle strutture interne di una palazzina in pieno centro storico con facciate soggette a vincolo architettonico e realizzazione di un'opera provvisoria di sostegno delle parti rimaste in opera (foto di sinistra). Particolare puntellamento di solai soggetti a carico (foto di destra).

2.3. Demolizioni con esplosivo

Fanno parte delle tecniche di demolizione non convenzionali la demolizione con esplosivo, la demolizione con malte espansive ed il water infusion.

Nella demolizione con esplosivo si produce l'indebolimento della struttura, modificandone lo schema statico, mediante la detonazione di cariche di materiale esplosivo collocate in punti strategici della struttura; il cedimento o l'abolizione di alcuni degli elementi portanti, crea un cinematismo che evolve in crollo per azione della forza peso.

Le malte espansive sfruttano la reazione chimica di alcune sostanze che, colate in fori preparati nel materiale da demolire, durante la presa e l'indurimento subiscono un forte aumento di volume determinando la rottura del materiale stesso.

La tecnica di demolizione chiamata water infusion consiste invece nel riempire la struttura da demolire o parti di essa con acqua, nell'immergerci delle cariche di esplosivo per poi farle detonare; l'acqua agisce da eccellente mezzo di trasmissione dell'onda di pressione (shock wave) generata dalla detonazione delle cariche, che insistendo sulle pareti della struttura ne provoca il cedimento ed il successivo e conseguente crollo.

Nella seguente trattazione presenteremo nel dettaglio le sole demolizioni con esplosivo che, per contenuti tecnici e campo di applicazione, sono il metodo di demolizione non convenzionale più utilizzato.

Le procedure e le tecniche di demolizione con esplosivo dipendono da diversi fattori; tra i più discriminanti si citano il tipo di manufatto, la sua altezza, le sue caratteristiche geometriche ed il contesto in cui si inserisce.

Nel caso più semplice di edifici con naturale sviluppo verticale, il compito dell'esplosivo è quello di "mettere a terra" l'edificio, provocandone il crollo, agendo sulla base di appoggio.

Per esempio, nel caso di una costruzione realizzata con elementi che non resistono a trazione, basterà eliminare una parte della sezione resistente basale abbastanza estesa da far sì

che la proiezione verticale del baricentro della struttura cada fuori dall'area di nocciolo di detta sezione, ed abbastanza alta da garantire che l'instabilità sussista anche dopo che l'intaglio si è richiuso, affinché l'azione della gravità completi l'abbattimento. Se sono presenti elementi capaci di resistere a trazione, la riduzione della sezione resistente dovrà assicurare che questi o cadano a trazione o, caso più comune, che passino dalla funzione di incastro alla funzione di cerniera per disgregazione del calcestruzzo tra i ferri ad opera di cariche esplosive o del sovraccarico indotto dalla riduzione della sezione resistente. In qualche caso si ricorre anche, previa verifica statica, al taglio meccanico di indebolimento di parte dei ferri, per maggior sicurezza di effetto, o all'asportazione meccanica (senza esplosivo) di elementi "non portanti" o comunque di marginale importanza ai fini della stabilità.

In ogni caso, la parte della costruzione effettivamente distrutta dalle cariche esplosive è solo una piccola frazione del totale, e il grosso dell'azione di disgregazione è fornito dall'energia gravitazionale della costruzione, ossia dalla caduta. L'edificio deve quindi acquisire una certa velocità di caduta, e a questo riguardo si distinguono schematicamente tre casi:

- Ribaltamento o caduta laterale (con o senza "accorciamenti"). E' la soluzione più comune, almeno per costruzioni snelle, e consiste nel provocare la rotazione dell'edificio (integro, o intagliato a diverse altezze, simultaneamente o quasi all'intaglio di base, da tagli di accorciamento) rispetto ad un'ideale cerniera materializzata dalla parte risparmiata della sezione di base. In questo caso l'edificio impatta su un letto di caduta o direttamente sul suolo con una velocità notevole, trasformandosi in energia cinetica la quasi totalità dell'originaria energia gravitazionale, e subisce nell'impatto sollecitazioni dinamiche che lo disintegrano completamente. I tagli di accorciamento hanno la funzione di ridurre, ove necessario, la lunghezza del cumulo di macerie.
- Caduta verticale, con o senza "accorciamenti". In questo caso si abolisce completamente, per una certa altezza, la sezione resistente di base, e l'edificio cade verticalmente (integro o intagliato a diverse altezze dai tagli di accorciamento), acquisendo al momento dell'impatto una velocità dipendente dall'altezza del taglio di base. Questa altezza di caduta deve essere sufficiente a determinare sollecitazioni dinamiche idonee a disgregare la struttura nella parte venuta in contatto col substrato (terreno di fondazione). Gli impatti successivi delle parti soprastanti non avviene più contro il substrato ma contro le macerie dei piani inferiori, che tendono ad attutirli. I tagli di accorciamento hanno la funzione di accrescere l'altezza di caduta libera, ravvivando il trasferimento di energia dalla originaria forma gravitazionale al lavoro di rottura man mano che il crollo procede; un'insufficiente altezza di caduta potrebbe infatti lasciare integra parte dell'edificio sul cumulo di macerie
- Implosione: la vera e propria "implosione" implica la caduta convergente verso il centro della struttura da demolire, e può essere ottenuta abolendo totalmente per una certa altezza, come nel caso precedente, la base di appoggio, ma temporizzando le esplosioni in modo che tale effetto distruttivo avvenga con un certo anticipo nella parte centrale rispetto alle parti periferiche; lo scopo che si intende raggiungere è il contenimento completo del volume di macerie nell'area di base.

Riuscire a contenere le macerie della struttura completamente all'interno del volume di controllo dipende anche dalla percentuale di vuoti che può contenere l'edificio che sta implodendo.

La tecnica dell'implosione viene utilizzata per gli edifici che si inseriscono in aree

altamente antropizzate, quando non esistono superfici ove far adagiare l'edificio senza causare danni; in questi casi si procede alla demolizione facendo restare il più possibile le macerie all'interno del volume di controllo.



Figura 4. Demolizione con esplosivo di edifici multipiano ottenute con la tecnica del ribaltamento (foto di sinistra) e mediante implosione (foto di destra).

3. VERIFICHE STATICHE FINALIZZATE ALLE DEMOLIZIONI

Per prevedere e di conseguenza controllare un crollo indotto in una struttura per azione dei mezzi meccanici o mediante l'utilizzo di esplosivi, bisogna prima di tutto risalire allo stato di fatto della struttura in esercizio, individuando i carichi agenti per cui essa è stata progettata, nonché le risorse tensionali che la stessa è in grado di opporre all'intervento di demolizione.

Le verifiche statiche da eseguire su di una struttura da demolire considerano la struttura in due fasi della propria vita:

- nella situazione prima della demolizione, ossia in esercizio, in modo da determinare lo stato tensionale presente dei materiali deputati alla portanza della struttura;
- nelle varie fasi di demolizione, quando l'abolizione o il progressivo cedimento/rimozione di taluni vincoli crea nella struttura una redistribuzione dei carichi ed una variazione delle condizioni statiche del manufatto.

Il risultato dell'analisi statica porterà alla quantificazione precisa di tutte le operazioni da seguire nel processo demolitivo, garantendo in ogni fase di lavoro la stabilità globale e locale della struttura che progressivamente subisce alterazioni tensionali.

Un'analisi statica di una struttura finalizzata alla sua demolizione necessita prima di tutto dell'acquisizione di importanti parametri geometrici e di massa:

- la determinazione del peso proprio della struttura
- la determinazione della posizione del baricentro della struttura (in modo da individuare la naturale tendenza nella direzione del crollo)

In assenza di rilievi precisi dello stato di fatto, la massa dell'edificio può essere calcolata in modo speditivo con la formula (1), considerando la relazione empirica di *Dusemberg e Freund*:

$$M[t] = V \frac{F_s \cdot \gamma_s}{g} \quad (1)$$

dove:

M [t]	massa dell'edificio;
V [m ³]	volume dell'edificio vuoto per pieno VPP;
F _s [%]	frazione di solido nell'edificio;
γ _s [kN/m ³]	peso di volume medio del solido;
g [m/s ²]	accelerazione di gravità.

La posizione del baricentro allo stesso modo può essere approssimata oppure calcolata analiticamente con appositi programmi di calcolo.

Le suddette grandezze rappresentano il punto di partenza per le verifiche statiche da eseguirsi sulla struttura, sia nel caso di demolizioni meccaniche che nel caso di demolizioni mediante l'utilizzo di materiale esplosivo.

La prima fase di calcolo consiste essenzialmente nella ricostruzione del comportamento reale della struttura, confrontando la resistenza a compressione o presso-flessione degli elementi portanti verticali con i carichi a rottura degli stessi elementi, in modo da quantificare le riserve tensionali che la struttura è in grado di offrire durante i sovraccarichi causati dalle operazioni di demolizione o smontaggio, oppure per il dimensionamento di un indebolimento specifico di alcune parti della stessa durante le fasi propedeutiche di una demolizione con esplosivo, oppure ancora per la quantificazione degli elementi da rimuovere per causarne il crollo.

Le procedure logiche a cui si fa riferimento per l'analisi statica dell'organismo edilizio constano essenzialmente nella metodologia, ormai ampiamente collaudata, di verifica degli stati tensionali dei materiali costituenti la struttura dell'edificio. Costano quindi in tutte quelle operazioni necessarie all'analisi dell'organismo nel suo complesso, in modo da poter prevenire eventuali situazioni di crisi in corso d'opera.

3.1. Principali verifiche statiche nel caso di una demolizione meccanica

Nelle demolizioni meccaniche in genere e negli smontaggi, tolti alcuni casi particolari, si procede di fatto alla progressiva rimozione/demolizione dall'alto verso il basso degli elementi strutturali, inducendo quindi uno scarico tensionale sulla struttura e quindi incrementando le riserve tensionali stesse della struttura.

In questi casi occorre quindi focalizzare l'attenzione non sulla resistenza complessiva dello scheletro strutturale, bensì sui singoli elementi progressivamente demoliti, la cui asportazione in sequenza produce dei cambiamenti nello schema statico locale.

In genere le parti strutturali più sollecitate in una demolizione risultano essere i solai, i quali con il progredire della demolizione vengono sovraccaricati con il peso delle macerie sovrastanti oppure sollecitati dinamicamente da urti causati dalla demolizione delle pareti o delle travi sovrastanti.

L'esecuzione di tagli o sezionamenti con filo o disco diamantato in travi e pilastri produce una drastica variazione nello schema statico dell'elemento dopo il taglio il quale, a seconda dei casi, può passare da iperstatico a isostatico oppure labile, necessitando nell'ultimo caso la predisposizione di strutture di sostegno provvisorie.

Gli schemi in Figura 5 simulano il comportamento di un solaio soggetto a diverse condizioni di carico ritrovabili in un intervento di demolizione di una struttura fortemente iperstatica realizzata su setti portanti e solai.

L'andamento dello sforzo normale, del momento e del taglio degli elementi vengono ricavati con le regole classiche della scienza e tecnica delle costruzioni.

SITUAZIONE REALE	Solaio soggetto al peso proprio 	Solaio soggetto al peso proprio e a quello delle macerie derivanti dalla demolizione del solaio superiore 	Solaio soggetto al peso proprio caricato sollecitato dal crollo di un setto 	Solaio soggetto al peso proprio nelle prime fasi di demolizione con asportazione di una sezione in mezz'aria
SCHEMA STATICO CORRISPONDENTE	Trave a doppio incastro 	Trave a doppio incastro con carico uniforme distribuito 	Trave a doppio incastro con carico puntuale maggiorato 	Trave a mensola

Figura 5. Situazioni di carico dei solai durante una demolizione e schemi statici utilizzati per le verifiche.

3.2. Principali verifiche statiche durante una demolizione con esplosivo

Un discorso a parte merita l'analisi strutturale di un manufatto da demolirsi mediante esplosivo; in questi casi infatti è necessario da una parte garantire la stabilità delle struttura durante le operazioni di indebolimento della stessa, quasi sempre funzionali a ridurre la sezione resistente da eliminare con le cariche esplosive, e dall'altra garantire la certezza di efficacia dell'intervento stesso, ossia il completo crollo del manufatto nella direzione voluta a seguito della detonazione delle cariche esplosive.

Per il dimensionamento degli indebolimenti strutturali, che in genere riguardano l'asportazione e la realizzazione di aperture nei vani ascensori (gli elementi strutturali a maggior rigidità in un edificio) o in setti portanti della struttura, è necessario eseguire il calcolo dello stato tensionale locale e globale a cui sono sottoposti gli elementi verticali nell'ipotesi progettuale di indebolimento. Gli indebolimenti possono essere realizzati altresì per indirizzare la struttura nella direzione di caduta voluta.

Vediamo ora i parametri e le verifiche propedeutiche all'induzione di un crollo in una struttura demolita con esplosivo, a seconda della tecnica utilizzata (implosione o ribaltamento) che determina situazioni di calcolo differenti.

Nel caso di implosione occorre trovare principalmente il numero dei piani da rimuovere.

La struttura minata si trova infatti istantaneamente ad essere privata di tutti i vincoli alla base, e su di essa agirà la forza peso che tenderà a farla cadere con un'accelerazione pari all'accelerazione di gravità.

A seconda dell'abbrivio che viene dato alla struttura, questa, toccando il suolo può frantumarsi totalmente, subire una frantumazione parziale o nella peggior delle ipotesi rimanere in posizione verticale compiendo semplicemente un moto rigido.

Nel caso del ribaltamento invece occorre verificare due condizioni cinematiche:

- Verifica delle condizioni cinematiche del crollo: nell'istante in cui avviene la chiusura del cuneo verificando che la risultante della forza peso di ogni modulo cada al di fuori del nocciolo di inerzia della sezione di base;
- Verifica dell'efficacia della cerniera di rotazione: mediante una verifica a rottura per presso-flessione degli elementi strutturali non minati alla base, sotto l'azione del peso proprio della struttura.

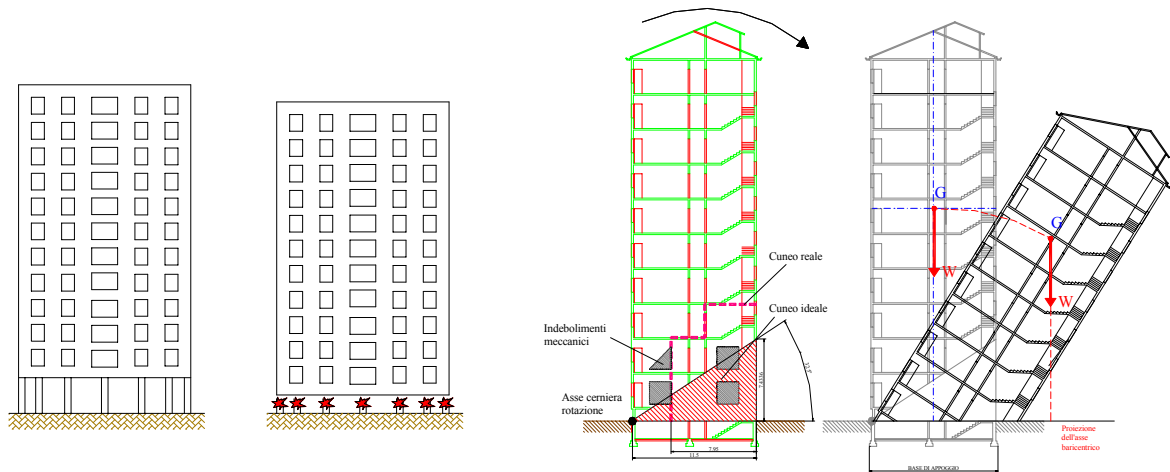


Figura 5. Situazioni di carico dei solai durante una demolizione e schemi statici utilizzati per le verifiche.

Infine, in entrambe i casi, considerando che nelle parti strutturali minate con esplosivo si ha un effetto dirompente immediato sul calcestruzzo ma nessun effetto sulle armature, è necessario mettere a nudo, tramite l'azione dirompente dell'esplosivo, una parte di ferri tale per cui si abbia instabilità per carico di punta (snervamento).

Oltre ai metodi classici si riporta di seguito una formula speditiva (2) per la determinazione della lunghezza h da caricare in un pilastro per produrre lo snervamento dei ferri.

$$h[m] = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EJ}{P}} \quad (2)$$

dove:

E [kg/m ²]	modulo elastico del tondino
J [m ⁴]	momento di inerzia del tondino ($J = 0,491 d^4$ con d diametro tondino)
P [Kg]	carico gravante sul singolo tondino

4. CONCLUSIONI

Si spera che questa trattazione, seppur schematica e sicuramente non esaustiva, abbia contribuito in qualche modo a "fare ordine" in un settore così complesso ed in continua evoluzione, il quale necessiterà sempre più di tecnici dotati di conoscenze multidisciplinari in materia di ambiente, sicurezza, statica ed esplosivistica civile.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Mancini R., Michelotti E.: Scienza delle distruzioni, *Politeko* (2002).
- [2] Berta G.: L'esplosivo strumento di lavoro, *Italesposivi*, Milano 1996.
- [3] Coppe D.: Manuale pratico di esplosivistica civile, *editrice PEI*, Parma, 1998.
- [4] The draft code of practice for demolition building.
- [5] Duseberg G., Freund H.-U.: Verbesserte Prognose von Boden und Bauwerkserschütterungen bei Abbruchsprengungen, *Spreng-Info*, n.2, 1996.