

GIUSEPPE BRANDIMARTI ROBERTO GIACCHETTI

INGEGNERIA DELLE DEMOLIZIONI

PRINCIPALI TECNICHE DI DEMOLIZIONE CIVILE

INDICE

Introduzione pag. 9

PARTE PRIMA

Tecniche di demolizione tradizionali e innovative

1. PIANIFICAZIONE DI UN INTERVENTO DI DEMOLIZIONE	
1.1. Generalità	» 13
1.2. Tipologie delle opere e classificazione	» 13
1.3. Considerazioni statiche	» 15
1.4. Caratteristiche dell'opera.....	» 15
1.5. Strategia di intervento	» 16
1.6. Verifiche statiche in fase di demolizione	» 17
1.7. Sicurezza	» 18
1.8. L'operazione di demolizione	» 19
2. TECNICHE DI DEMOLIZIONE CONTROLLATA	
2.1. Demolizione mediante l'uso di agenti meccanici espansivi	» 21
2.2. Demolizione mediante l'uso di spaccaroccia a sparo	» 22
2.3. Demolizione mediante l'uso di malte espansive.....	» 23
2.4. Demolizione mediante attrezzi che sfruttino l'utilizzo del diamante	» 24
2.5. Demolizione con troncatrici manuali	» 26
2.6. Demolizione con seghe a binario	» 27
2.7. Demolizione con seghe taglia-giunti.....	» 28
2.8. Demolizione con seghe a catena	» 29
2.9. Demolizione con seghe a filo diamantato	» 29
2.10. Demolizione mediante carotatrici	» 31
2.11. Idroscarifica e idrodemolizione.....	» 32
3. TECNICHE DI DEMOLIZIONE TRADIZIONALI	
3.1. Demolizione per trazione o per spinta eseguita con mezzi meccanici....	» 35
3.2. Demolizione mediante l'uso di sfere metalliche.....	» 35
3.3. Demolizione mediante l'uso di martelli demolitori	» 36
3.4. Demolizione mediante l'uso di pinze e cesoie	» 39
3.5. Demolizione selettiva	» 43
3.6. Flying Demolition System.....	» 45

PARTE SECONDA

Tecniche speciali di demolizione. La demolizione con esplosivo

1. GLI ESPLOSIVI	
1.1. Generalità	» 49
1.2. L'esplosivo.....	» 49
1.3. Innesco per esplosivi da mina	» 51
1.4. Detonatori	» 52
1.5. Cariche di rinforzo.....	» 53
1.6. Detonatori a fuoco e miccia a lenta combustione	» 53
1.6.1. Miccia detonante	» 53
1.6.2. Detonatori del tipo elettrico	» 54
1.7. Detonatori del tipo NONEL (a tubo conduttore d'onda)	» 58
1.8. Detonatori NPED (senza carica primaria)	» 58
1.9. Detonatori elettronici.....	» 58
1.10. Linea di tiro	» 58
1.11. Dimensionamento delle cariche	» 60
2. PROGETTARE LA DEMOLIZIONE	
2.1. Generalità	» 65
2.2. Richiami di meccanica	» 66
2.3. Crollo per caduta verticale (implosione).....	» 69
2.4. Crollo per caduta laterale	» 73
2.5. Calcolo della forza d'impatto	» 79
2.6. Ritardi	» 83
2.7. Esempio di calcolo	» 86
2.8. Posizionamento dei ritardi.....	» 88
3. EFFETTI INDESIDERATI	
3.1. Generalità	» 91
3.2. Sconfinamento, proiezioni e polveri	» 91
3.3. Approccio rigoroso di Adolfo Bacci	» 92
3.4. Metodo di G. Berta per il calcolo della gittata teorica	» 95
3.5. Vibrazioni nel terreno	» 98
3.6. Effetto delle esplosioni	» 105
3.7. Effetto del crollo	» 107
3.8. Sovrappressioni	» 110

4. WATER INFUSION	
4.1. Generalità	» 113

PARTE TERZA

Esempi applicativi

1. ESEMPIO APPLICATIVO DI PROGETTAZIONE DI UN INTERVENTO DI DEMOLIZIONE CIVILE MEDIANTE L'USO DI ESPLOSIVI	
1.1. Generalità	» 117
1.2. Sopralluoghi e reperimento documentazione tecnica	» 117
2. ANALISI STRUTTURALE DELL'EDIFICIO	
2.1. Generalità	» 131
2.2. Calcolo del peso proprio e della posizione del baricentro dell'edificio	» 132
2.2.1. Peso proprio.....	» 132
2.2.2. Posizione del baricentro	» 134
2.3. Calcolo della condizione limite per la perdita di equilibrio (S.L.U. per ribaltamento globale)	» 138
2.4. Modello della struttura allo stato attuale.....	» 142
2.5. Secondo modello strutturale	» 147
2.6. Terzo modello strutturale.....	» 151
3. PROGETTO DI ABBATTIMENTO	
3.1. Dimensionamento del quantitativo di carica esplosiva.....	» 155
3.2. Impatto al suolo.....	» 156
3.3. Disposizione dei ritardi	» 157
3.4. Lancio di materiale frantumato	» 161
3.5. Rumori e sovrappressioni in aria.....	» 162
3.6. Vibrazioni trasmesse nel terreno	» 164
3.6.1. Metodo di Langerfors	» 164
3.6.2. Analisi vibratoria mediante modellazione strutturale ed elementi finiti	» 165
3.6.3. Considerazioni energetiche	» 170
3.7. Confronto tra i valori di picco di accelerazione ottenuti nell'ultimo caso preso in esame e i valori di picco di accelerazione ottenuti tramite simulazione di evento sismico nella stessa area	» 171
Appendice – <i>L'Amianto</i>	» 175
<i>Bibliografia</i>	» 179

Introduzione

I processi di demolizione delle opere solo da alcuni anni sono soggetti a un certo grado di evoluzione che ne ha investito sia la scientificità delle procedure che le tecnologie esecutive. In passato la cultura tecnica corrente ha infatti ritenuto la demolizione un evento accessorio e marginale rispetto alla costruzione di un'opera, relegando le tecniche specifiche operative in un quadro artigianale senza alcuna specificità professionale.

Le demolizioni totali o parziali sono state condotte spesso con mezzi inadeguati e norme di cautela e sicurezza sono state di frequente trascurate al fine d'impiegare il minor numero di mezzi e manodopera possibile. L'assenza di un piano preordinato di demolizione dunque ha spesso dato luogo in passato a situazioni impreviste, a crolli a catena che avrebbero potuto essere evitati con un'analisi approfondita delle caratteristiche dell'opera e delle sue parti. Oggi grazie all'evoluzione del settore, si è compresa la fondamentale importanza che la conoscenza delle caratteristiche strutturali delle opere interessate da processi di demolizione riveste.

Nella moderna cultura tecnica la demolizione va interpretata anche come processo di smontaggio dell'opera, la quale va eventualmente sottoposta a un processo a fasi inverse rispetto a quello che ne ha determinato la costruzione. Il processo di demolizione andrà quindi progettato e dovrà essere poi pilotato da tutta una serie di operazioni, a ognuna delle quali potrà corrispondere un preciso schema statico che dovrà tenere conto delle zone critiche dell'opera su cui si interviene al fine di facilitare il processo stesso. Lo sviluppo delle tecniche operative, legato sia all'uso di macchine innovative che di mezzi esplosivi, garantisce oggi una rigorosa attuazione del processo di demolizione, il quale deve essere in grado di individuare in ogni fase obiettivi che siano precisi nella loro progressione operativa e che si accompagnino alla conclusione del processo stesso.

PARTE PRIMA

**Tecniche di demolizione
tradizionali e innovative**

1. PIANIFICAZIONE DI UN INTERVENTO DI DEMOLIZIONE

1.1. GENERALITÀ

Il progetto di un intervento di demolizione è un'operazione molto complessa che richiede specifiche conoscenze nel campo della scienza e della tecnica delle costruzioni, della sicurezza e dell'organizzazione di un cantiere.

Le opere interessate da processi di demolizione, anche se molto diverse per materiale e tipologia, possono essere oggetto di diverse classificazioni.

1.2. TIPOLOGIE DELLE OPERE E CLASSIFICAZIONE

Per quanto concerne il materiale si fa riferimento a:

- legno;
- muratura;
- acciaio;
- cemento armato ordinario o precompresso.

Ad ognuno di tali materiali sono legate tipologie strutturali ben note e comunemente riscontrabili.

Il progettista di un processo di demolizione controllata non può operare senza un corredo di conoscenze che sia, per quanto possibile, adeguato al complesso delle caratteristiche appartenenti all'opera su cui interviene, per questo motivo sottoporre ad esame le varie tipologie strutturali si rivela un'operazione di una certa importanza, soprattutto nell'eventualità che siano presenti fasi costruttive particolari. Con riferimento ai materiali sopra elencati tali tipologie possono classificarsi come:

a) Strutture in legno:

- travi inflesse a una o più campate;
- strutture a timpano con puntoni e tirante;
- travi reticolari a schema generalmente isostatico.

b) Strutture in muratura:

- pareti verticali portanti a sostegno di impalcati di piano, anche in legno, variamente e mutuamente ammortati a muri di spina;
- archi a semplice curvatura, di varia luce, funzione e importanza; si può spaziare dagli archi di qualche metro a presidio di aperture sino ai ponti e i viadotti ad arco;
- volte o gusci a doppia curvatura per coperture di superfici di notevoli dimensioni.

c) Strutture in ferro o acciaio:

- travi reticolari lineari o spaziali (cupole reticolari) chiodate, bullonate o saldate a schema isostatico o iperstatico;
- travi a parete piena lineari chiodate, bullonate o saldate a schema isostatico o iperstatico;
- telai semplici o complessi con elementi verticali e di piano mutuamente chiodati, bullonati o saldati.

d) Strutture in calcestruzzo armato ordinario:

- travi a parete piena gettate in opera o prefabbricate a schema isostatico o iperstatico;
- telai semplici o complessi;
- travi reticolari prefabbricate;
- archi a parete piena o reticolari con catene, in genere prefabbricati;
- archi di notevole luce per ponti e viadotti realizzati con getti in opera (es. ponti Maillart) o con procedure particolari.

e) Strutture in calcestruzzo armato precompresso:

- travi semplici gettate in opera con cavi di precompressione post-tesi interni o esterni per applicazioni civili, ponti e viadotti;
- travi semplici prefabbricate in officina con armature di precompressione aderenti per applicazioni civili o per ponti e viadotti;
- ponti e viadotti realizzati per conci in avanzamento, in opera o prefabbricati, con schema statico evolutivo;
- ponti e viadotti realizzati con travi appoggiate prefabbricate e successivamente rese continue con armatura convenzionale o cavi;
- ponti e viadotti realizzati con getti in opera e varati a spinta con schema statico evolutivo.

1.3. CONSIDERAZIONI STATICHE

La complessità e la varietà delle opere che si differenziano tra loro sia per materiale costitutivo e schema strutturale che per sequenze esecutive, non consente di operare su di esse in maniera sempre uguale; di conseguenza è necessario impostare criteri operativi a carattere generale e di principio i quali, di volta in volta, dovranno trattare prima i problemi di statica locale e successivamente i problemi di statica globale, nel quadro della isostaticità o iperstaticità dell'opera e degli schemi che verranno progressivamente a configurarsi.

Per *statica locale* si intende il complesso di problemi che interessano parti dell'opera la cui crisi non comporta necessariamente il collasso dell'intera struttura principale portante; si tratta quindi di problemi che possono interessare parti isolate delle strutture, come ad esempio solette, sbalzi, ecc.

Per *statica globale* invece, si intende l'insieme dei problemi che interessano parti dell'opera la cui crisi può comportare il collasso della struttura nella sua globalità; anche un intervento teso ad alterare il numero di iperstatiche della struttura va inquadrato nell'ottica della statica globale.

Premesso questo, un processo di demolizione parziale o totale, indipendentemente dalle dimensioni dell'intervento, dovrà preliminarmente individuare i seguenti aspetti fondamentali:

- caratteristiche dell'opera e documentazione tecnica;
- strategia di intervento;
- localizzazione dell'intervento;
- verifiche statiche transitorie in fase di demolizione (nel caso di demolizioni totali);
- condizioni di sicurezza di cantiere e condizioni di sicurezza relative al contesto esterno.

1.4. CARATTERISTICHE DELL'OPERA

L'opera da demolire deve essere ben inquadrata con riferimento alla sua età, al suo stato di integrità al momento dell'intervento, ai materiali di cui è composta e alle loro caratteristiche e al loro eventuale degrado e infine alle fasi costruttive e agli schemi strutturali che ne hanno caratterizzato l'edificazione. Pertanto la possibilità di disporre della documentazione tecnica si rivela un apporto di una certa importanza; in caso contrario, è necessario progettare una campagna di indagini conoscitive utilizzando le stesse modalità attraverso le quali si opera nel settore della diagnosi strutturale ai fini del consolida-

mento o della riabilitazione; quando ciò risulti tecnicamente e/o economicamente non fattibile, conoscere l'epoca di costruzione dell'opera può consentire di individuare, mediante la tecnica del progetto simulato, le modalità costruttive adottate, le caratteristiche dei materiali di cui sono costituite le varie parti, le tecniche di unione degli elementi strutturali.

La valutazione della resistenza della struttura così come si presenta allo stato attuale, fondamentale nel progetto di demolizione controllata, parte dalla determinazione delle resistenze dei materiali che la compongono; a questo riguardo, è necessario effettuare determinazioni dirette delle caratteristiche dei materiali attraverso il prelievo di campioni in situ e prove in laboratorio, eventualmente corroborate da indagini non distruttive che consentano di accertare il grado di omogeneità dei materiali. Il numero delle prove e dei rilievi dei dettagli costruttivi deve essere tale da far risultare esaustivo il quadro conoscitivo dell'opera: condizione necessaria, ma non sufficiente, perché si affronti consapevolmente il progetto di demolizione controllata e si possa poi concludere con successo l'intervento.

1.5. STRATEGIA DI INTERVENTO

Le strategie di intervento, soprattutto nel caso di demolizioni totali, nel rispetto del contesto in cui l'opera è ubicata e delle possibilità operative di cui si dispone, dovranno individuare compiutamente sotto l'aspetto statico le seguenti successioni:

- eliminazione di tutti i carichi permanenti rimovibili;
- demolizione progressiva degli elementi strutturali isolati o rilevanti ai fini della statica locale;
- progressivo declassamento delle risorse iperstatiche della compagine strutturale, nel caso ci si trovi in presenza di vincoli sovrabbondanti;
- individuazione delle zone critiche dell'opera e scelta delle zone di intervento sulle quali produrre le discontinuità che condurranno alla condizione di labilità della struttura nel suo complesso e quindi alla perdita dell'equilibrio globale;
- frazionamento degli elementi strutturali;
- pilotaggio e orientamento della caduta degli elementi strutturali.

Le zone critiche dell'opera o che come tali sono state individuate durante il processo di demolizione, dovranno presentare facilità di intervento sia per quel che riguarda l'accesso degli operatori che quello dei mezzi d'opera, inoltre le loro caratteristiche statiche dovranno essere preliminarmente valutate in

rapporto al superamento degli stati limite richiesti: a questo riguardo va attentamente valutata la scelta di un meccanismo labile rispetto a un altro.

1.6. VERIFICHE STATICHE IN FASE DI DEMOLIZIONE

Il processo di demolizione avviene necessariamente per fasi successive durante le quali la struttura viene severamente modificata sia per quanto riguarda l'entità e la distribuzione dei carichi ancora agenti, sia per quanto riguarda lo schema strutturale. Ciascuna delle diverse configurazioni che la struttura assume va attentamente valutata prima del raggiungimento della condizione in cui si assiste all'attivazione di un meccanismo labile che porta alla perdita di stabilità, locale o globale che sia, è inoltre necessario accertarsi preventivamente che in nessuna fase intermedia possa crearsi una situazione di collasso parziale o totale non previsto; pertanto si dovrà fare in modo che le verifiche statiche si attengano scrupolosamente agli schemi che il progettista della demolizione o dello smontaggio dell'opera ha individuato e intende attuare.

Le strutture in cemento armato precompresso, specialmente quelle post-tese, necessitano di un'attenzione particolare; ad esempio, nei ponti una singola trave privata di elementi di impalcato può raggiungere facilmente la crisi se la coazione con i cavi è stata applicata progressivamente. Rimovendo la soletta d'impalcato la precompressione sviluppata da tutti i cavi si trasferisce sulla trave, la quale può raggiungere lo stato limite di trazione e entrare così in crisi.

Problemi di instabilità flessionale e torsionale possono manifestarsi nel caso in cui si vadano a sollevare degli elementi strutturali in fase di smontaggio; esempio tipico è lo smontaggio delle travi precomprese.

In esercizio (sezione composta)

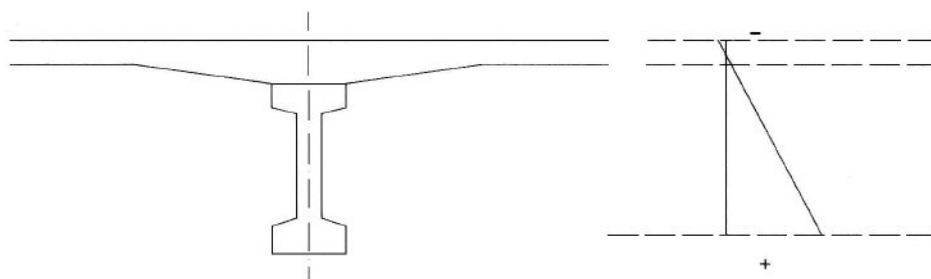


Figura 1.1. Trave post-tesa in fase di esercizio

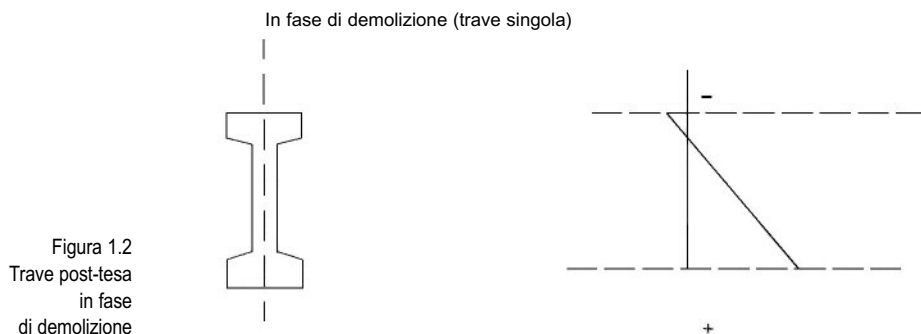
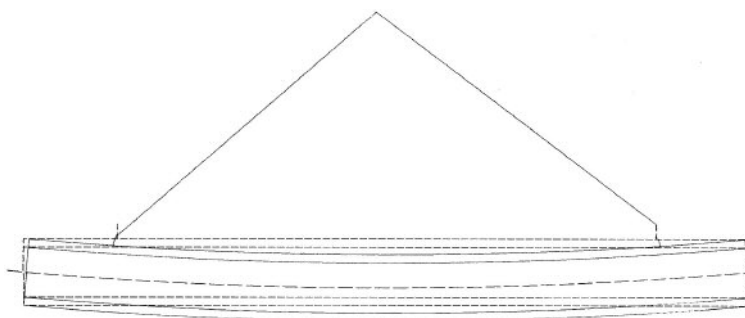


Figura 1.3
Instabilità
torsionale
derivante dal
sollevamento
delle travi



1.7. SICUREZZA

Prima dell'entrata in vigore delle norme sulla sicurezza in generale (Legge 626/94) e dei cantieri mobili in particolare (Legge 494/96) quello della sicurezza era l'aspetto maggiormente trascurato nei cantieri di demolizione controllata, a causa dei rilevanti costi che andavano a gravare sulle imprese che intendevano adottare misure di cautela.

D'altra parte la pratica di affidamento degli appalti, basata di fatto su offerte di prezzi al ribasso, ha influito sull'entità di questi costi e ha generato effetti negativi, in considerazione della complessità e pericolosità di molte lavorazioni e della frequente esposizione degli addetti ai lavori alle esalazioni prodotte da materiali tossici e nocivi.

Oggi la sicurezza ricopre un ruolo primario nell'ambito della demolizione ed è per questo che ogni impresa cerca di adottare soluzioni tali da minimizzare i rischi a questa connessi, sia per la tutela dei lavoratori che del contesto esterno al cantiere. Non solo la tecnologia (*know-how*, mezzi d'opera, struttura organizzativa) messa in campo per la demolizione qualifica l'impresa ma, oggi soprattutto, sono le tecniche di riduzione dei rischi insite nel concetto di controllo del processo di demolizione a fare la differenza.

1.8. L'OPERAZIONE DI DEMOLIZIONE

L'intervento di demolizione può essere parziale o totale.

In caso di demolizione parziale si ricorre all'utilizzo di tecniche che permettono di operare con assoluta precisione e che, vista la limitatezza dell'intervento, assicurano un'estrema rapidità di esecuzione con costi sempre più ridotti. La demolizione parziale fa uso di utensili al diamante raffreddati ad acqua che tagliano e forano conglomerati di qualsiasi spessore e ferri di armatura, anche di forte sezione, consentendo un allontanamento celere del materiale di risulta e un lavoro programmato e coordinato con le esigenze di produzione del cantiere.

Il progresso tecnologico permette di avvalersi dell'utilizzo di strumenti all'avanguardia e talvolta sofisticati che garantiscono:

- assenza di percussioni;
- assenza di vibrazioni;
- assenza di sollevamento polveri;
- rumorosità contenuta;
- precisione di esecuzione.

In caso di demolizione totale di una costruzione fino ad alcuni anni fa ci si avvaleva di tecnologie tradizionali non controllate o scarsamente controllate quali martello demolitore, sfera metallica, pinze e cesoie idrauliche che sfruttando le forze d'impatto, percussione e frantumazione erano in grado di garantire la riduzione dei tempi e l'economicità delle operazioni.

Negli ultimi anni però nell'ambito della demolizione totale, soprattutto di edifici ma anche di strutture speciali, stanno riscuotendo sempre più successo due tecniche innovative il cui impiego è costantemente in crescita:

- la demolizione selettiva;
- la demolizione realizzata mediante l'uso di microcariche esplosive.

Nell'affrontare una demolizione è necessario valutare caso per caso quale sia il metodo di distruzione più idoneo anche se in almeno due casi, precisamente quando ci si trova a dover affrontare altezze superiori ai 12 - 15 m e quando si presenta l'esigenza di procedere con l'attacco distruttivo raggiungendo i vari punti secondo una precisa sequenza temporale, il mezzo più sicuro e efficace risulta quello legato all'impiego di cariche esplosive nonostante il dispiegarsi di numerosi effetti collaterali, quali la propagazione di vibrazioni meccaniche attraverso il suolo, la formazione di nuvole di polvere e l'assordante rumore generato dallo scoppio e dal crollo delle rovine, effetti che comunque possono essere in parte attutiti.

Indubbiamente questa tecnologia, che negli Stati Uniti viene impiegata in modo diffuso in virtù di una certa tendenza ad abbracciare la cultura della demolizione e in virtù della presenza di costruzioni alte che ne caratterizza il tessuto urbano, ha dato origine alla formazione di una nuova disciplina dell'ingegneria definita come "scienza delle demolizioni", necessariamente derivata dalla scienza delle costruzioni poiché da questa trae i suoi principi generali e le sue possibilità di successo.