

## **PROGETTARE E COSTRUIRE NEL RISPETTO DELL’AMBIENTE**

Prof. Ing. Pietro Lunardi (Presidente della Società Italiana Gallerie)

### **1. Premessa**

È cosa risaputa che l’attuazione di qualsiasi grande opera d’ingegneria civile si esplica obbligatoriamente, con modalità peculiari di ogni infrastruttura, attraverso le seguenti quattro fasi principali:

1. studio preliminare per l’inserimento dell’opera nel territorio;
2. progettazione;
3. costruzione;
4. manutenzione, per mantenerne inalterata la funzionalità durante l’arco della vita.

È altresì evidente che ognuna di queste fasi presenta aspetti d’interazione con l’ambiente circostante che, ai fini di una prassi progettuale e costruttiva rispettosa di quest’ultimo, devono essere attentamente considerati nei momenti e nelle sedi opportune; aspetti, quindi, di cui è indispensabile siano edotti e pienamente consapevoli tutti gli addetti ai lavori. Illustrarli ed evidenziarli in relazione al tema che ci sta a cuore, cioè quello delle infrastrutture sotterranee nelle grandi vie di trasporto ferroviario o autostradale, è quanto, nel seguito, ci prefiggiamo di fare.

Analizzare singolarmente ciascuna delle suddette fasi potrà essere utile allo scopo.

### **2. Lo studio preliminare per l’inserimento dell’opera nel territorio**

Volendo mettere in comunicazione, attraverso una strada o una ferrovia, due località A e B, in teoria si hanno, com’è noto, infinite possibilità di percorsi.

Normalmente, la scelta è compiuta in base a una stima costi/benefici, considerando e ottimizzando esigenze spesso antagoniste, quali, per esempio:

- l’esigenza di evitare zone morfologicamente, geologicamente e idrologicamente sfavorevoli;
- l’esigenza di minimizzare i consumi energetici e i tempi di percorrenza;
- l’esigenza di minimizzare i costi di costruzione e di successiva manutenzione;
- l’esigenza di assicurare agli utenti un accettabile comfort e un adeguato livello di sicurezza.

Se le due località sono separate da una montagna, la scelta può essere orientata da due opposti criteri progettuali:

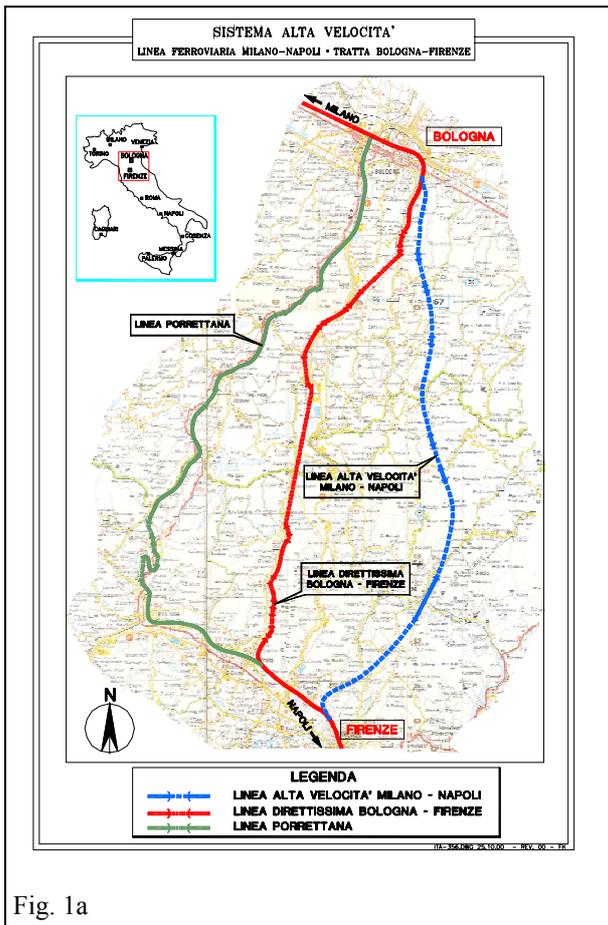


Fig. 1a

- un criterio più tradizionale, che preferisce un tracciato il più possibile aderente alle curve di livello, risolvendo il problema del superamento delle vallate mediante la realizzazione di ponti e viadotti anche molto ardit;
- un criterio più moderno, che, al contrario, preferisce un tracciato che si addentri in galleria sotto i rilievi, minimizzando l'importanza delle opere esterne e quindi l'impatto paesaggistico e ambientale dell'infrastruttura nel suo complesso.

Se si raffrontano i tracciati autostradali e ferroviari realizzati in passato con quelli più recenti si nota subito come l'odierna capacità di progettare e costruire gallerie con la stessa facilità di qualsiasi altra opera d'ingegneria civile induca sempre più i progettisti a seguire il secondo criterio, privilegiando le soluzioni in galleria.

Per rendersene conto, è sufficiente confrontare i diversi tracciati ferroviari realizzati nel corso degli ultimi 150 anni per collegare Bologna con Firenze (figg. 1a,

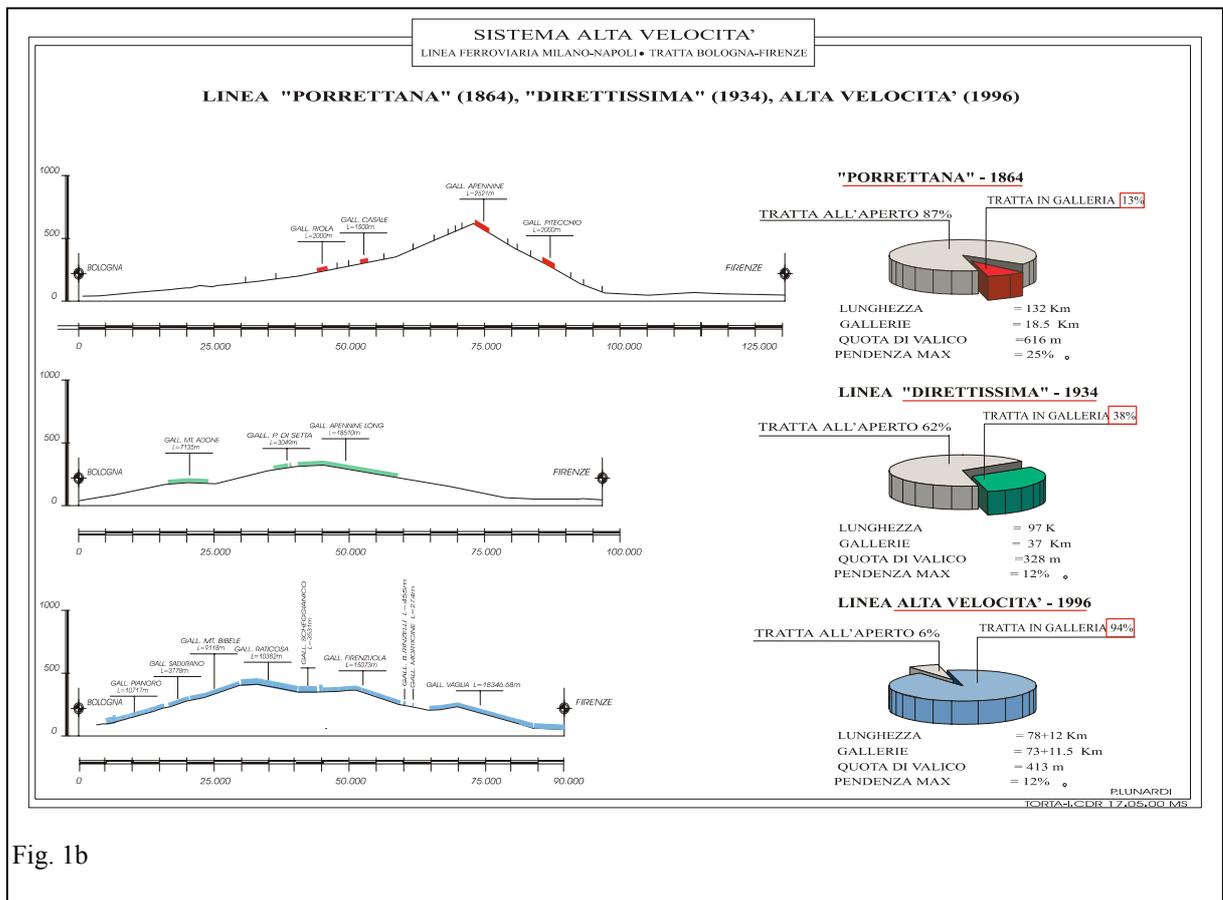


Fig. 1b

1b): risalta evidente che, mentre l'evoluzione tra la "Porrettana" e la "Direttissima" consistette in un'ottimizzazione altimetrica e planimetrica (che aveva comportato una diminuzione della pendenza massima del tracciato, un aumento dei raggi di curvatura e, in definitiva, una maggior velocità di percorrenza), nel caso della nuova linea ad alta velocità ciò che cambia è soprattutto il criterio progettuale, che approfittando dello sviluppo delle tecnologie nel campo del tunnelling, tiene nel giusto conto i fattori ambientali, ricorrendo all'opzione sotterranea quanto più è possibile: questa non dev'essere più considerata una soluzione dai tempi e dai costi realizzativi imprevedibili, da subire in assenza di valide alternative percorribili, bensì una soluzione da proporre quale elemento principe dei tracciati montani, che, se ben realizzato, può risolvere molti problemi di viabilità nel modo più soddisfacente ed economico, con grandi vantaggi anche d'ordine paesaggistico e ambientale.

Una galleria ben concepita e ben costruita consente, infatti, di:

- preservare al massimo il paesaggio originario, minimizzando gli impatti ambientali;
- realizzare infrastrutture meno vulnerabili in caso di sisma;
- contribuire, se opportunamente corredata delle necessarie opere accessorie, alla stabilizzazione di un versante in frana;
- accorciare sensibilmente la lunghezza del percorso migliorando, allo stesso tempo, le sue caratteristiche plano-altimetriche;
- ridurre, di conseguenza, i tempi di percorrenza, i consumi di carburante e l'inquinamento dei prodotti della combustione;
- abbattere i futuri costi da sostenere per la manutenzione dell'infrastruttura;
- assicurare agli utenti un discreto comfort e un buon livello di sicurezza anche nel periodo della cattiva stagione.

A fronte di tali vantaggi, l'inserimento di una galleria nel territorio normalmente non pone difficoltà al progettista sensibile alle problematiche paesaggistiche e ambientali. Egli a questo riguardo, potrà porre una certa attenzione soprattutto a:

- ubicare le zone d'imbocco in zone geologicamente e idrologicamente favorevoli;
- curare che il tracciato si addentri nei rilievi il più perpendicolarmente possibile alle curve di livello, evitando conflitti con eventuali preesistenze;
- favorire, nel caso di gallerie di considerevole lunghezza, la possibilità di realizzare attacchi intermedi;
- inserire l'opera nel territorio senza creare ferite irreversibili.

Occorre d'altra parte rilevare che oggi i tracciati sovente devono rispettare vincoli di ordine superiore che limitano fortemente le libertà di scelta del progettista, il quale, in sede di studio per l'inserimento delle opere nel territorio, è talvolta costretto a compromessi.

A questi compromessi potrà e dovrà essere posto rimedio nella fase successiva, con un'adeguata progettazione.

### **3. La progettazione**

Tra le varie fasi attraverso cui si sviluppa l'attuazione di una grande opera d'ingegneria civile, quella della progettazione è certamente la più delicata sotto tutti gli aspetti, compreso quelli paesaggistico e ambientale.

È quindi imperativo che cultura e rispetto degli equilibri naturali preesistenti trovino ampio spazio nella mente del progettista, soprattutto quando la rilevanza delle opere da costruire è tale da poter portare significativi mutamenti al paesaggio e all'ambiente in cui saranno inserite.

La nuova linea ferroviaria ad alta velocità tra Bologna e Firenze, ad esempio, coprirà i circa 90 Km di tracciato con 11 gallerie da 140 m<sup>2</sup> di sezione, per una lunghezza complessiva di circa 84,5 Km), cui vanno aggiunti altri 18 Km, ripartiti tra gallerie di servizio e finestre d'accesso alla linea. Per completarla saranno scavati circa 13.400.000 m<sup>3</sup> di terreni assai complessi ed eterogenei: si va dalle formazioni flyschoidi alle argille e argilliti, fino ai terreni sciolti. Saranno attraversati territori di grande pregio come le valli dell'Idice e del Mugello. Gli scavi, rigorosamente a piena sezione, stanno attualmente avanzando, nel pieno rispetto dei tempi e dei costi preventivati, su 32 fronti contemporanei, sotto i più svariati stati tensionali, a una media, a regime, dell'ordine di 1600 m/mese di galleria finita.

È del tutto evidente che opere di questa portata creerebbero ferite profonde al paesaggio e all'ambiente circostante se non fossero concepite sin dalla loro origine all'insegna del rispetto degli equilibri naturali preesistenti. Per questo occorre:

1. analizzare approfonditamente tutti quegli equilibri naturali che in qualche modo verranno turbati:
  - equilibrio globale dei versanti (specialmente nelle zone d'imbocco delle gallerie);
  - equilibrio locale delle pareti di scavo;
  - equilibri idrologico e idrogeologico;
  - equilibri ecologici (faunistico, floristico, ecc.);
  - equilibri paesaggistici;
  - ecc.;
2. assicurare, attraverso un'adeguata progettazione, che il transitorio tra gli equilibri originari e quelli finali sia caratterizzato da tempi il più possibile ridotti;
3. operare in maniera tale che gli equilibri finali di cui sopra si discostino il meno possibile da quelli originari.

Ciò richiede competenze geologiche, geotecniche, di meccanica delle rocce, idrauliche, fisiche, forestali, strutturali, di consolidamento, di architettura, ambientalistiche che, ovviamente, non possono ritrovarsi sintetizzate tutte nel bagaglio professionale di un'unico professionista [1]. È compito del progettista coordinare tutte le professionalità necessarie per realizzare, nel rispetto degli equilibri naturali, l'opera, che si configura come una macchina complessa, un sistema integrato di funzioni tra loro correlate e mutuamente condizionantesi. Il risultato della sua azione dovrà concretizzarsi in un progetto il più possibile completo dell'infrastruttura sotterranea da realizzare, che non prescinda dal dare precise prescrizioni anche in tema di materiali, tecnologie, sistemi, fasi e cadenze d'avanzamento, la cui scelta, altrimenti, sarebbe rimandata alla buona volontà del costruttore, non necessariamente esperto di problematiche ecologiche ed ambientali e per di più, sovente, in condizioni più o meno palesi di conflitto d'interesse. Appare utile, a questo proposito, richiamare l'attenzione sull'importanza dei capitolati, che è preciso compito del progettista redigere e vagliare criticamente anche in relazione alla "qualità ecologica" delle tecnologie e dei materiali ivi prescritti.

#### **4. La costruzione**

Il rispetto degli equilibri naturali preesistenti da parte del progettista deve trovare seguito, per dar frutto, anche nell'azione del costruttore, che deve impegnarsi a costruire l'opera attuando fedelmente quanto dal progettista stesso concepito, nel più completo rispetto dei capitolati.

Questo significa, in particolare, ch'egli dovrà adoperarsi affinché:

1. durante le diverse fasi della costruzione, siano impiegati esclusivamente mezzi e tecnologie adeguati;

2. il personale addetto alla realizzazione dell'opera sia sufficientemente sensibilizzato e correttamente istruito;
3. tutti i materiali impiegati siano conformi alle prescrizioni del progettista ed ecologicamente idonei;
4. sistemi, fasi e cadenze d'avanzamento siano attuati esattamente come previsto dal progettista.

La recente introduzione delle normative di Assicurazione Qualità anche nel settore delle opere in sotterraneo (fig. 2) può contribuire positivamente a garantire maggiormente sulla qualità costruttiva in relazione a taluni dei suddetti aspetti [2].

Da un'indagine statistica sull'andamento delle Non Conformità (cioè diversità tra il progettato e il costruito) rilevate sui cantieri per la realizzazione della nuova linea ferroviaria ad alta velocità tra Bologna e Firenze, infatti, è risultato chiaramente che, dopo un primo periodo di rodaggio del sistema, la tendenza è stata verso una netta diminuzione delle stesse [3]. In particolare, si sono ridotte significativamente le Non Conformità legate alla messa a punto dei processi tecnologici e di gestione del progetto, mentre di più critica e difficile soluzione sono risultate quelle che riducono la flessibilità operativa del General Contractor, peraltro condizionato e sollecitato fortemente dagli obiettivi programmatici. Stabili, come scontato, le Non Conformità legate a meri errori, fisiologici in ogni processo.

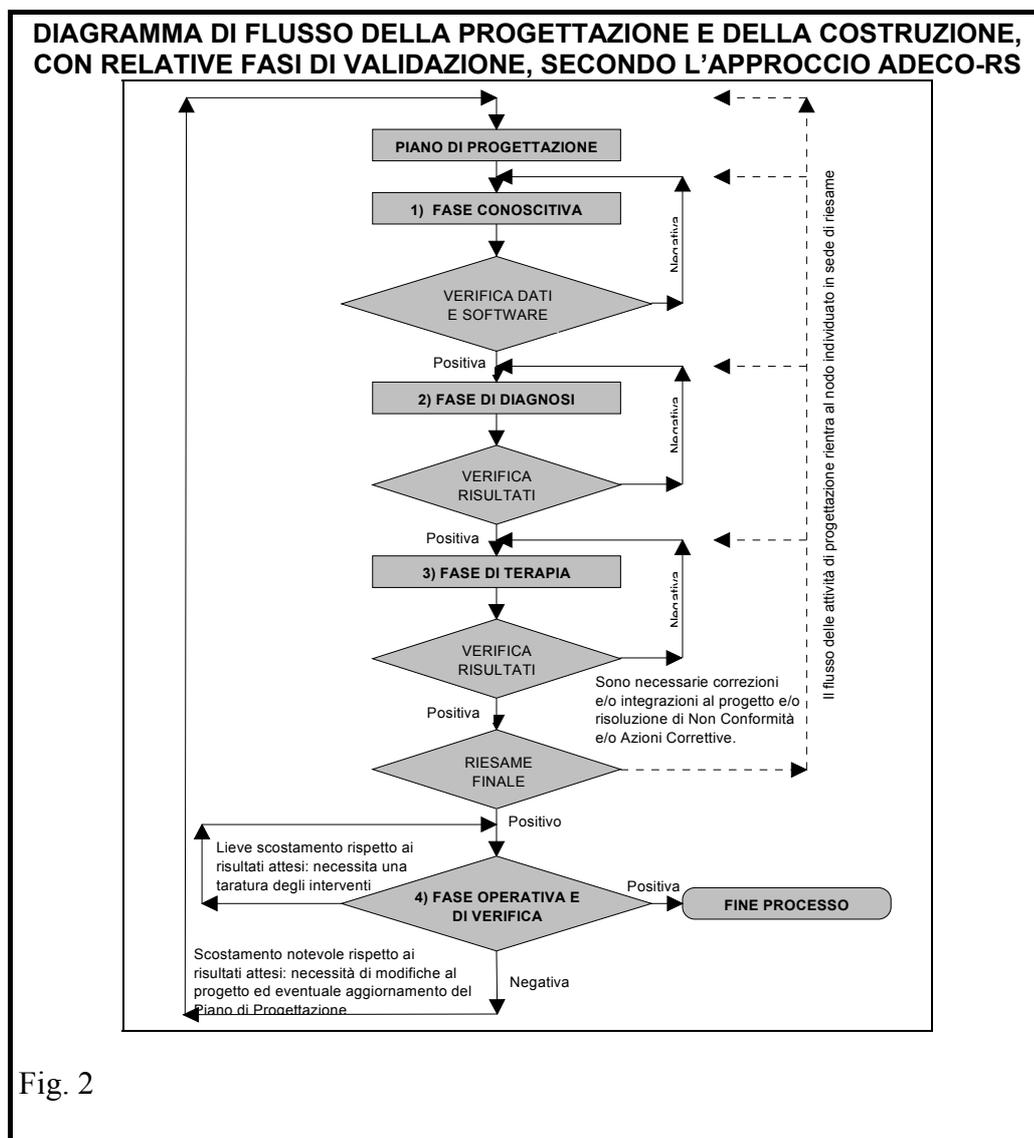


Fig. 2

## **5. La manutenzione**

Quanto meglio l'opera è stata inserita nel territorio, progettata e costruita e quanto più è stata curata la scelta, anche dal punto di vista della qualità ecologica, dei materiali da impiegare per realizzarla, tanto più risulterà elevata la sua durabilità e di conseguenza ridotta e semplificata la manutenzione necessaria.

In particolare, per abbattere significativamente i costi di manutenzione è cruciale che nelle precedenti fasi di progettazione e di costruzione si siano prese misure idonee a:

- risolvere efficacemente le problematiche connesse all'eventuale circolazione di acque ipogee non regimate;
- assicurare un completo ed efficace monitoraggio dell'infrastruttura in fase di esercizio comprendendo, se opportuno, i versanti limitrofi.

Riguardo al primo punto, oltre a curare l'impermeabilizzazione del rivestimento, specialmente presso i giunti, mediante la messa in opera di fogli di PVC di prima qualità, all'estradosso del rivestimento definitivo, appare importante, nel caso di acqua in pressione, abbattere l'entità di quest'ultima mediante opere di regimazione e recupero atte a preservare l'ambiente circostante e ad assicurare l'approvvigionamento agli insediamenti interessati. Non sono poche, infatti, le gallerie che, oltre alla funzione primaria di trasporto svolgono anche quella non meno importante di acquedotto. Un esempio significativo è sicuramente la Grande Galleria dell'Appennino, che da quasi settant'anni alimenta, con 4200 l/min di portata, tutta la provincia di Prato, senza per questo aver compromesso la natura e la bellezza dei luoghi di grande pregio, come l'alta valle del Bisenzio, da essa attraversati [4].

Riguardo al secondo punto, un'accurata progettazione e una corretta messa in opera di stazioni di monitoraggio, atte a tenere sotto controllo l'evoluzione nel tempo delle spinte sui rivestimenti e delle deformazioni nei punti critici, potranno aiutare non poco nella successiva gestione delle operazioni manutentive, orientando tempestivamente i responsabili verso le scelte più opportune.

## **6. Considerazioni conclusive**

In passato, nel nostro Paese, sono state realizzate numerose grandi opere. Benché si tendesse assai più di adesso a fare affidamento sulla capacità della natura a ripristinare autonomamente gli equilibri scomposti, alla luce dell'esperienza accumulata si può affermare che nella maggior parte dei casi è stata data sufficiente importanza alla preservazione dell'ambiente che le avrebbe ospitate, rispettando sostanzialmente gli equilibri naturali preesistenti.

Oggi, che intraprendiamo con sempre maggior frequenza la costruzione d'infrastrutture sotterranee, anche di rilevanza un tempo inusitata, si ritiene più consigliabile pilotare attivamente gli equilibri transitoriamente scomposti, per esser certi che la configurazione finale desiderata sia raggiunta effettivamente e in maniera indolore.

Infatti, durante la costruzione di una grande opera è inevitabile che gli equilibri naturali risultino in qualche modo alterati. L'importante è che ciò avvenga in maniera controllata, in modo da saperli poi adeguatamente ripristinare.

Accettare la fase transitoria senza creare ingiustificati allarmismi è un presupposto indispensabile affinché i lavori possano essere portati a termine nel migliore dei modi, con costi minimi, e gli equilibri naturali ripristinati in tempi brevi.

Perché questo si verifichi occorre evidentemente l'impegno di tutti, ma soprattutto da parte:

- dei progettisti, che non dovrebbero mai trascurare d'informare esaurientemente i loro interlocutori sulle problematiche di genere ecologico e ambientale che inevitabilmente si manifesteranno durante la costruzione dell'opera e su come gli equilibri naturali scomposti saranno alla fine ripristinati;
- delle personalità politiche, che dovrebbero saper comunicare credibilmente, per dare ai cittadini la certezza che le loro preoccupazioni sono state attentamente considerate insieme con la consapevolezza che certi disagi transitori, anche rilevanti, si tradurranno in vantaggi significativi per la comunità, vantaggi di cui ciascuno, direttamente o indirettamente, tangibilmente godrà.

## **Bibliografia**

- [1] Lunardi P., Focaracci A., "Quality assurance in the design and construction of underground works", Atti della Conferenza Internazionale su "Underground construction in modern infrastructure", Stoccolma, 7-9 giugno 1998
- [2] Lunardi P., "La figura del geingegnere di fronte ai problemi dell'ambiente e del territorio", Atti del Congresso Internazionale di Geingegneria su "Suolosottosuolo", Torino, 27-30 settembre 1989
- [3] Calcerano G., "I consolidamenti in galleria", Quaderno 3° Sessione Conferenze Permanenti Alta Velocità: "Il preconsolidamento del terreno" - Bologna, 24 giugno 1999
- [4] Ministero dei Lavori Pubblici, "La Direttissima Bologna-Firenze", Roma, 1934