

# Evoluzione storica delle tecniche costruttive delle condotte e implicazioni sulla relativa gestione

I. Becchi\*

## Premessa

Le condotte interrato rappresentano una importante linea di servizio territoriale (*life lines*) a supporto della vita moderna; non è semplice tracciare brevemente un quadro di sintesi completo ed esauriente dei problemi di costo di tali strutture. Nel prosieguo ci si limiterà a segnalare i problemi generali ponendo un particolare accento sui problemi più pressanti sia dal punto di vista del progettista che da quello del pianificatore.

In generale, la voce condotte interrato sta a coprire una vasta gamma di soluzioni tecniche relative a condotte per il convogliamento di liquidi. Queste possono essere raggruppate in dipendenza della funzione in condotte per acqua, gas o oli combustibili e condotte di calore. A sua volta le condotte per acqua comprendono diverse funzioni e possono essere raggruppate in: fognature, acquedotti, e drenaggi. Molte di queste rappresentano un sottoservizio che non da luogo ad una produzione di reddito, ma piuttosto possono essere definite come una struttura per la riduzione dell'incidenza del rischio di allagamento, nei confronti degli uomini e dei loro beni, e come tali le definiremo condotte di difesa. I problemi di costo relativi alle condotte interrato si focalizzano principalmente in costi di realizzazione ed in costi di conduzione.

In generale le valutazioni economiche per le condotte possono essere fatte secondo due linee di pensiero secondo un criterio di costi e benefici. Nel caso delle condotte a reddito (acquedotti, gasdotti, oleodotti, etc.) è possibile porre sul piano dei costi l'insieme delle spese di costruzione, di conduzione e di capitale, mentre sul piano dei benefici si porrà l'introito o la differenza di introito che la condotta produce. Per le condotte di difesa, la valutazione del beneficio è invece più ardua dovendosi riferire ad una riduzione di danno. In

---

\* Ordinario di Costruzioni Idrauliche all'Università di Firenze

questo caso la valutazione può essere condotta o sulla stima del probabile danno attualizzato, oppure sulla valutazione dell'incremento di valore del territorio che beneficia della condotta di difesa. In tutti e due questi criteri di stima si annida una debolezza di soggettività, non tanto nel fatto del beneficio che realmente si attua, quanto in relazione alle ipotesi di lavoro che sono adottate per la stima.

Infine si vuole porre l'accento sul ruolo dell'interramento. Una condotta interrata è definibile più semplicemente sepolta, cioè abbandonata e dimenticata. Infatti essa non lascia alcuna "eredità d'affetti". La sua sopravvivenza, in qualità di bene funzionale, è legata solo alla sua attenta e scrupolosa manutenzione, oltre ad una sana progettazione che rispetti gli interramenti e le distanze di sicurezza da possibili azioni perturbative. Purtroppo non troviamo una affermata normativa tecnica che permetta di realizzare opere interrate protette da tutte le possibili interferenze e dobbiamo ricordare che solo in alcuni casi esiste una normativa di rispetto che vincola la tipologia del manufatto con un diretto riflesso anche sui suoi costi come si vedrà più avanti.

## I COSTI

Prima di analizzare le diverse componenti dei costi, è opportuno descrivere brevemente alcune linee generali della progettazione che definiscono i criteri di tracciato e da cui dipendono anche i costi di realizzazione.

### Il tracciato

In ragione della loro funzionalità i tracciati si differenziano sostanzialmente se si tratta di condotte in pressione (acquedotti e *life lines*) o di condotte a pelo libero (fognature, drenaggi e scarichi). Le prime infatti non sono vincolate a seguire un tracciato discendente nel senso di moto del fluido convogliato, mentre per le seconde ciò è tassativo ed impone svariati vincoli al progettista.

In subordine il tracciato risente anche dei vincoli di proprietà, per cui sarà condotto in maniera diversa a seconda della persona

giuridica che lo conduce. Anche a questo proposito si rileva una differenza tra le condotte a reddito, in genere di proprietà privata e quelle di difesa che di norma fanno capo ad un gestore pubblico.

Nel definire il tracciato di una condotta interrata, il buon progettista si pone il problema anche degli interventi successivi, quali manutenzioni straordinarie, riparazioni, sostituzioni o ampliamenti, in maniera da sviluppare l'opera al di sotto di un piano che sia sempre praticabile e idoneo a scavi di ispezione. Per questo motivo, quasi tutte le condotte interrate si sviluppano al disotto della rete stradale o in fondo ad essa. Fanno eccezione le condotte speciali (ad esempio: le condotte forzate) che per la loro natura specifica vengono inserite in un cunicolo di servizio idoneo ad operare sopralluoghi e controlli periodici, oltre a consentire gli interventi più rari ed onerosi.

La collocazione sotto la viabilità della maggior parte delle condotte interrate, mentre comporta sensibili vantaggi di intervento, genera a sua volta una serie di contrattempi e interferenze. Da una parte vi è la sollecitazione meccanica prodotta dal traffico veicolare che sottopone le condotte ad un continuo lavoro a fatica. Dall'altra vi sono le perdite di fluido prodotte da lesioni e sedimenti della condotta, queste a loro volta possono produrre sensibili danni alla struttura viaria (dilavamenti, sifonamenti ed esplosioni). In ultimo sembra opportuno citare un ulteriore danno indiretto legato a questa collocazione che consiste nelle interruzioni di traffico prodotte da qualsiasi intervento oltre che dalla costruzione. Questo difetto, specie nelle nostre città antiche a pianta medievale, è particolarmente oneroso se il regime del traffico veicolare tende a una saturazione continua, per cui si può propagare fino a veri e propri blocchi del sistema circolatorio. Ma questi inconvenienti indotti dalle condotte interrate sono di difficile espressione analitica in quanto sono connessi alle condizioni di maggiore o minor salute di un altro servizio che con esse viene ad interferire.

In definitiva il tracciato sarà planimetricamente guidato dal reticolo stradale e presenterà le sue caratteristiche salienti nel profilo altimetrico. Per le condotte con funzionamento in pressione questo sarà caratterizzato da tratte (o livellette) ad andamento rettilineo, spesso parallelo al piano di campagna con un interrimento (e quindi scavo) costante, terminanti in apparecchi di controllo (valvole, sfiati o scarichi). Le condotte con funzionamento a pelo libero avranno invece difficilmente un andamento perfettamente parallelo a quello del

piano di campagna in quanto per esse la pendenza è un parametro della progettazione idraulica e deve soddisfare le condizioni generali sui limiti delle velocità compatibili con il fluido trasportato e con il materiale della condotta. Esse inoltre, specie se adibite al servizio di fognatura, devono presentare frequenti accessi di ispezione in forma di tombini che in genere non devono distare più di 50 metri.

Per tutte queste soluzioni il vincolo guida è l'interramento minimo che resta legato a prescrizioni specifiche ed a condizioni di resistenza strutturale.

### **Tipologie e materiali**

I materiali che si impiegano per le condotte interrate possono essere di svariati tipi in funzione delle sollecitazioni interne ed esterne cui la condotta è sottoposta. In linea di massima avremo largo impiego di condotte in metallo, cemento e materia plastica. Il tipo di condotte differirà robustamente al variare del funzionamento e rimane difficile descrivere sinteticamente le diverse soluzioni senza cadere nella tediosa elencazione, ci si limiterà ad indicare i requisiti principali cui tali materiali devono soddisfare, consentendo così anche la valutazione di materiali di nuova formulazione.

Alle condotte è richiesta una resistenza meccanica contro lo schiacciamento prodotto dal peso del terreno e dai sovraccarichi che vi gravano. Resistenza alle sollecitazioni prodotte dalle pressioni interne. Resistenza alle sollecitazioni provocate da fenomeni sismici. Resistenza alle sollecitazioni di origine termica.

Quando sia prevedibile, bisogna verificare i materiali per l'usura meccanica o abrasione prodotta dai fluidi che vi circolano.

E' comunque sempre necessario verificare e proteggere le condotte interrate dai fenomeni elettrochimici di corrosione.

Tutti i materiali impiegati per le condotte devono essere comunque idonei a svolgere la funzione di contenimento dei fluidi convogliati, questa però va analizzata non per il solo materiale costituente la condotta ma per tipologia completa includendo un'attenta analisi delle giunzioni o connessioni che in genere rappresentano il punto debole della tenuta.

Qualunque sia il materiale, le moderne tendenze mostrano la prevalenza di soluzioni che richiedono la minor incidenza di mano-

dopera per la messa in opera. Negli ultimi vent'anni ciò ha prodotto una vera e propria rivoluzione tipologica che ha visto sparire per sempre i tradizionali giunti a bicchiere, sigillati con baderna e piombo battuto, rimpiazzati da manicotti con giunzioni rapide ad anello di gomma. Conseguentemente, a titolo di esempio sono sempre più impiegati i condotti in polietilene che consentono la saldatura a caldo per fusione. La scomparsa dei tubi in fibrocemento, legata ad una specifica normativa igienica, ha lasciato spazio a nuove soluzioni di cemento e ghisa rivestite internamente.

La tipologia dei condotti interrati prevede comunque un rivestimento per evitare il contatto diretto tra la condotta ed il terreno. La soluzione tipologica è strettamente legata al materiale ed alla sua dimensione. Così si passa da condotte rivestite con un mantello bituminoso o semplicemente con un filtro di tessuto a tubazioni alloggiare su una letto di magrone e ricoperte da un congruo strato di sabbia.

Prima di passare ad analizzare gli oneri di messa in opera, è doveroso citare la durata dell'opera. Questa dipende sostanzialmente dalla durata di vita del materiale impiegato e corre l'obbligo di rammentare che alla luce delle conoscenze attuali la vita media dei materiali è stimabile in 20-50 anni per il cemento, 15-40 per i metalli e 10-20 per le materie plastiche. Ciò riferito a dati medi sul degrado dei materiali in condizioni di lavoro correnti, che non escludono la possibilità di durate maggiori come anche inferiori. Tuttavia si consiglia di dimensionare la condotta per questo lasso di tempo, anche se viene il dubbio che non esista limite di vita per le sepolture!

### **Messa in opera**

La messa in opera delle condotte interrate comporta un delicato lavoro di scavo, cui succede l'allettamento della condotta e la successiva ricopertura con la chiusura finale. Lo scavo è di per sé l'elemento più oneroso ed incerto del lavoro, facendo riferimento ad un sottosuolo sconosciuto e spesso colmo di sorprese. In realtà si tratta di un lavoro oscuro che comporta maestria nella scienza dei materiali terrosi e una buona pratica con i macchinari specializzati per lo scavo.

Si potrebbe dire che la posa di condotte interrate è una via di mezzo tra la "nobile" arte delle gallerie e l'umile lavoro della vanga.

Gli elementi che incidono di più sull'economia degli scavi sono la presenza di terreni difficili (rocce a forte coesione, materiali spingenti), la presenza di acqua e gli ostacoli. Questi ultimi si devono distinguere in ostacoli superficiali o evidenti ed ostacoli sommersi o imprevisti.

A causa del dilagare dell'impiego delle macchine operatrici le modalità di lavorazione sono cambiate completamente negli ultimi vent'anni, come si può notare scorrendo il prezioso del Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri. Sono scomparsi gli elementi di distinzione legati alla portata dell'operaio con pala (ancora 10 anni fa si distingueva fino a due metri ed oltre) ma ancora non sono state stabilite nuove voci di scavo anche perché le macchine operatrici sono numerose e molto versatili, permettendo la soluzione di problemi una volta onerosissimi con rapidità ed economia.

Anche la presenza d'acqua, come ostacolo allo scavo, è da considerarsi un elemento di disturbo meno oneroso che nel passato, infatti fino a sei metri vi è la possibilità di utilizzare tecniche di *well-point* che accelerano il lavoro di cantiere. Però l'acqua rimane un'aggravante pericolosa per gli aspetti di stabilità degli scavi comportando spesso l'impiego di protezioni e strutture temporanee, come le palancole Larsen, che producono un sensibile aumento dei costi.

Nel caso di grossi ostacoli, specie superficiali, la tecnica della posa in opera delle condotte interrato si avvicina sempre di più a quella dei lavori in galleria. Si arriva così alla realizzazione di cunicoli, frequentemente con la tecnica detta a *spingitubo*. Questo metodo di scavo comporta l'impiego di macchinario specializzato e prevede che l'avanzamento sia prodotto dalla pressione di una corona di martinetti oleodinamici che, opportunamente contrastati, riescono ad infiggere una intera colonna di tubazioni di rivestimento dotate di un tagliente o di una fresa di penetrazione. Oggidi questa tecnica risulta molto perfezionata grazie all'impiego di sistemi ottici di controllo e correzione dell'allineamento dello scavo che permettono di evitare l'instabilità trasversale della colonna. Naturalmente la posa in opera in queste condizioni è molto più onerosa che nel caso ordinario, ma è ad esso più confrontabile e riduce sensibilmente gli inconvenienti dell'avanzamento in cunicolo, che nel passato potevano bloccare un cantiere per mesi.

Si cita la ben nota traversia del passaggio sotto un'abitazione in cui, durante il lento avanzamento si verificavano lesioni. A ciò conseguiva il blocco del cantiere e costosissime lungaggini.

Infine è opportuno citare come per terreni favorevoli e per condotte di piccolo diametro sia possibile utilizzare una particolare apparecchiatura di posa in opera che consta di un utensile di taglio, tipo draga a secchi o sega a catena, munito di una slitta di allettamento del condotto. Questa macchina operatrice consente di posare tubi, in genere di plastica, di piccolo diametro (<25 mm) predisposti in un rotolo continuo. Essa è molto impiegata per i drenaggi agricoli, ma può essere usata anche per piccoli acquedotti.

## **PROBLEMATICHE DI GESTIONE E RIABILITAZIONE**

### **La gestione ordinaria**

La gestione delle condotte interrate comprende la pulizia, il controllo delle perdite e l'esecuzione di manovre.

La pulizia è una pratica doverosa per mantenere i requisiti di progetto della condotta. Essa combatte le incrostazioni e le occlusioni che comportano la lenta perdita di capacità di trasporto della tubazione. La prolungata mancanza di pulizia comporta la necessità di sostituzione della condotta. Nel campo delle condotte esistono speciali attrezzature o scovoli detti *pigs* che sono idonei a percorrere le condotte pulendole sotto la spinta della stessa pressione che guida il fluido. Perché ciò sia possibile è necessario che il progetto preveda un tracciato idoneo con la presenza di sezioni di immissione ed espulsione del *pig* e senza curve brusche che ne impediscano il percorso. In pratica questi scovoli sono applicabili solo per diametri superiori a 150 mm. Quando si utilizzi un diametro minore è opportuno prevedere la possibilità di sfilamento della tubazione incrostata per operare ad una sua economica sostituzione. A questo scopo si consiglia di eseguire una posa in opera con camicia continua, specie per le condotte di plastica.

Il controllo delle perdite è una delicata operazione di routine che va dimensionata al danno effettivo che dette perdite producono. Assunto che non possono esistere soluzioni perfettamente impermeabili e riconosciuto che la condotta interrata è sottoposta ad un continuo lavoro meccanico da parte dei carichi rotolanti della strada, non

deve fare meraviglia che una condotta abbandonata a se stessa si troverà, dopo un certo tempo, ad avere voluminose perdite prodotte da un insieme di cause: piccole lesioni della parete, piccole erosioni, scollamenti dei giunti, gemiti dei premistoppa delle valvole, etc. Ogni singola piccola perdita può essere schematizzata in una goccia al minuto (ovvero 1/10000 di litro). La somma di tutte queste imperfezioni, per un acquedotto di medie dimensioni, comporta la perdita di alcune decine di litri al minuto, ma nessuna di queste perdite è di per sé localizzabile. Quando la condotta è interrata, infatti, il terreno è perfettamente in grado di assorbire perdite di queste dimensioni senza presentare alcun sintomo.

Quando le perdite sono più copiose, invece, è possibile localizzarle sia per traccia del fluido fuoriuscito sia per il rumore che accompagna il getto in uscita. Esistono specifiche attrezzature che però consentono di localizzare le perdite ingenti e solo nelle condotte in pressione. Nel caso di posa sotto guaina, o incamiciata, rimane più facile verificare la presenza di perdite con la sola ispezione delle estremità della guaina.

Per quanto concerne le manovre ordinarie va ricordato che la moderna tecnologia consente di intervenire con servomeccanismi, ormai a controllo digitale, che permettono di eseguire il comando remoto. Nella soluzione tradizionale, l'accesso alle valvole sotterranee avveniva scendendo nei pozzetti tramite gli appositi chiusini (quando questi non erano impediti da veicoli in sosta!). Solo analizzando il tempo uomo necessario è facile comprendere come questa antica manovra sia oggi economicamente improponibile.

## **Recupero e riabilitazione di vecchie condotte**

A causa dell'età delle nostre città e della nostra colonizzazione, è facile capire come esista oggi un ricchissimo patrimonio di condotte interrate, in parte assolutamente dimenticate, ormai completamente obsolete ed in pessime condizioni. Spesso l'uso di queste condotte è mutato nel tempo, citiamo qui l'esempio della fognatura di Firenze, di origini settecentesche, derivante da antichi fossi di campagna poi coperti e inseriti in un reticolo sotterraneo. Nel suo lavoro di riassetto urbanistico il Poggi, razionalizzò la struttura drenante dotandola di collettori e di un emissario, ma ben convinto che poteva servire solo

per la raccolta e lo spurgo di acque meteoriche. Quando nel 1981, a causa del liquame maleodorante che fuoriusciva dalle latrine delle caserme di via S. Gallo, si trattò di immettervi le acque luride, il Poggi (progettista) si oppose fermamente, e fu possibile farlo recedere solo con l'adozione delle fosse settiche che ancora ora sono prescritte per tutto il comprensorio.

Non è difficile raccogliere esempi caratteristici del dissesto prodotto dall'obsolescenza dei condotti interrati. E' emblematico il caso del rio Noce a Genova, dove, a seguito dei grandi sventramenti urbanistici dell'inizio di questo secolo, venne realizzato un ampio terrapieno per la localizzazione dell'Ospedale e dei relativi Istituti Scientifici dell'Università. Il rio, un tempo semplice ricettacolo delle acque piovane della montagna soprastante, venne inscatolato in una struttura "provvisoria" che completava i poveri muri di pietrame delle vecchie recinzioni settecentesche. Nel corso dei decenni, l'acqua incominciò a lavorare silenziosa infiltrando nelle crepe dei muri ed asportando il terreno circostante. Così il 27 dicembre 1979, improvvisamente, il torrente dimenticato si annunciò a tutti causando un vasto sprofondamento della sommità del rilevato ed occludendosi. Il rilevato trovandosi così nella nuova funzione di diga cominciò ad invadere acqua, minacciando di allagamento la centrale termica e la mensa del massimo ospedale della Liguria. Poiché il tempo inclemente continuava a riversare una pioggia insistente, vi fu un duro lavoro dei Vigili del Fuoco per scongiurare il disastro.

Anche recentemente, qui a Firenze, nell'occasione delle piogge dell'ottobre 1992, molti cittadini hanno riscoperto con sorpresa e preoccupazione che piccoli torrenti sepolti (il S. Gervasio, l'Arcovata, il Pellegrino, il Montughi, etc.) si erano risvegliati con inattesa irruenta vitalità.

La grande evoluzione del territorio prodotta da un insieme di fattori che comprendono una urbanizzazione non dimensionata idraulicamente (l'incubo del Poggi), la modificazione delle tecniche manutentorie, e la mancanza di documentazione sui condotti sotterranei, hanno portato a dei gravi disservizi. L'aumento della contribuzione idrica delle piogge, dovuto al diminuito potere assorbente del terreno urbanizzato, ha trovato di converso condotti ostruiti e in cattivo stato.

D'altronde le vecchie condutture consentono solo un'ispezione con le tecniche tradizionali, ovvero con dei costi insostenibili, e per-

tanto è doveroso studiare dei provvedimenti che evitino l'insorgere sempre più frequente di questi danni.

Si consiglia di recuperare le vecchie condotte interrate solo dopo avere predisposto degli opportuni alleggerimenti o *by-pass*. Quello che deve essere attentamente studiato è un rinnovamento tipologico (con intonaci, rinforzi o impermeabilizzazioni) che consenta di prolungare la funzionalità ed un cambiamento di gestione che consenta di attuare nuove tecniche di controllo, senza dovere ricorrere al fognaiolo con autorespiratore.

### CONCLUSIONI

L'analisi dei problemi di costo delle condotte interrate ha messo in luce alcune problematiche di questo tipo di opere che le rendono particolarmente critiche.

A parte la posa in opera, il grande carico di costo sta nella capitalizzazione della conduzione, specie per quelle opere che, essendo di antica costruzione o tipologia, richiedono frequenti interventi manuali.

In particolare si è posto l'accento sulla durata delle opere sotterrate, e sulle difficoltà di riesumazione.

Si indica come spunto di miglioramento futuro una possibilità di esecuzioni sfilabili che permettano il controllo più puntuale delle perdite e una continua sostituzione delle tratte in crisi.

Infine va sottolineato il grave problema del recupero delle condotte vecchie ed obsolete che, specie nelle vecchie città di stampo medievale, difficilmente potranno essere sostituite o affiancate da moderne realizzazioni.

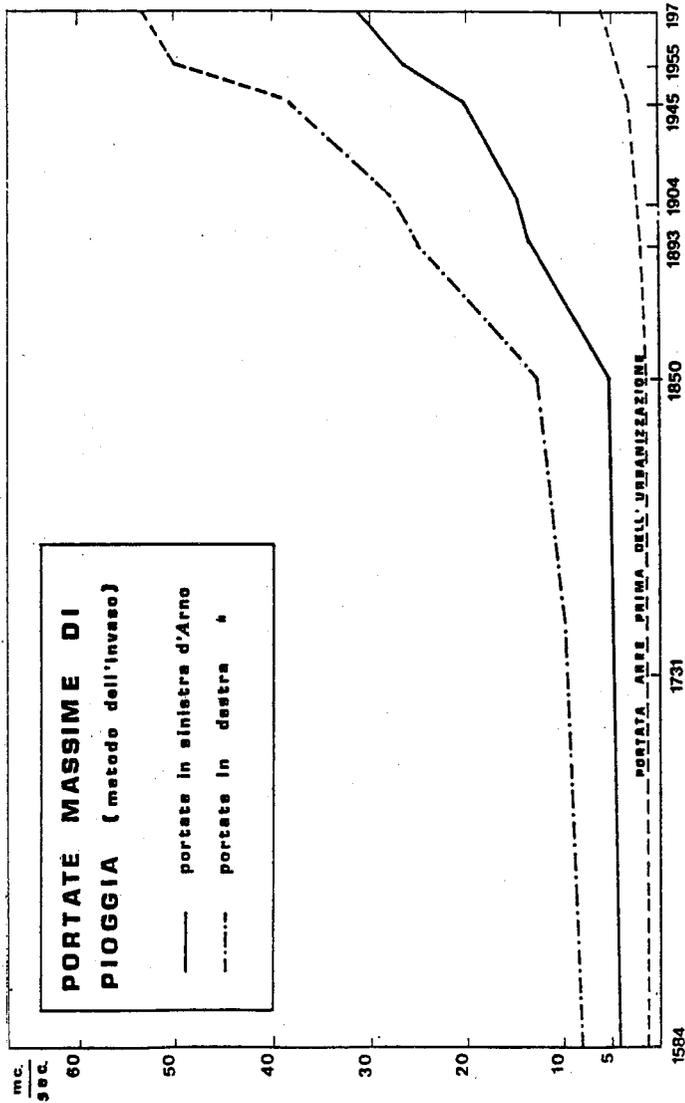


Figura 1. Evoluzione nel tempo delle portate fognarie della città di Firenze (da Giachi e Camicciottoli, 1980).

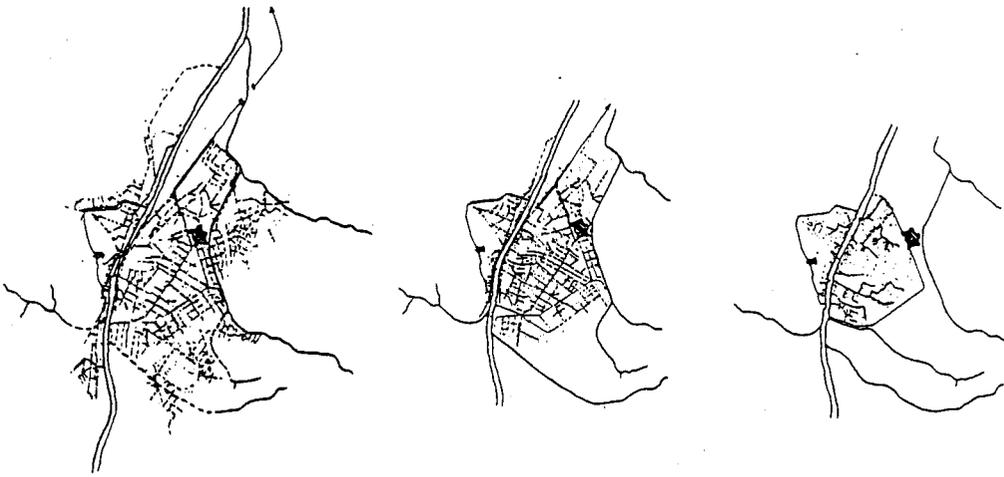
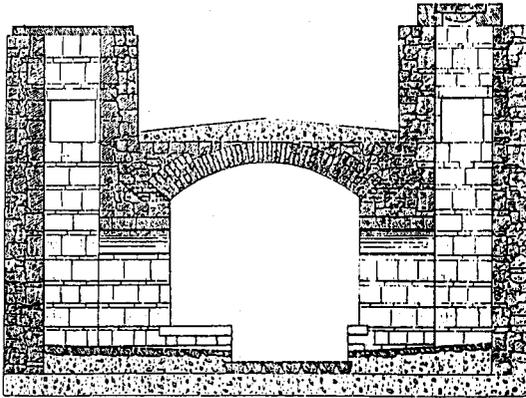


Figura 2. Tre momenti della crescita di Firenze e l'estensione del suo reticolo fognario (da Giachi e Camiciottoli, 1980).

SEZIONE dell' EMISSARIO

Prof 1 a 50



FOGNA del QUARTIERE del MUGNONE

Prof 1 : 50



FOGNA dei VIALI

Prof 1 a 50

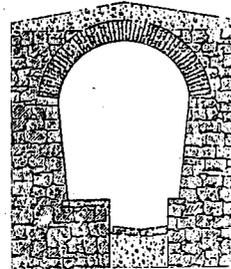


Figura 3. Alcuni esempi delle tipologie fognarie adottate dal Poggi; notare le grandi differenze tra i piedritti, la volta e la pavimentazione.

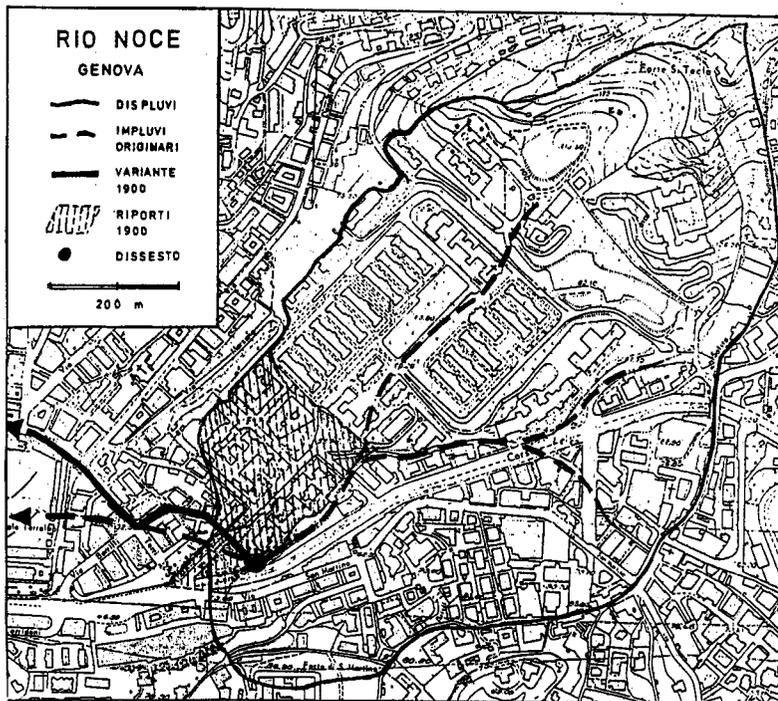


Figura 4. Planimetria del bacino del Rio Noce a S. Martino di Genova.

