

CAPITOLO PRIMO

RISORSE IDRICHE

1.1 Il ciclo dell'Acqua

L'idrosfera occupa circa i due terzi della superficie terrestre e consente, attraverso il ciclo dell'acqua, lo scambio d'energia e sostanze fra gli ecosistemi.

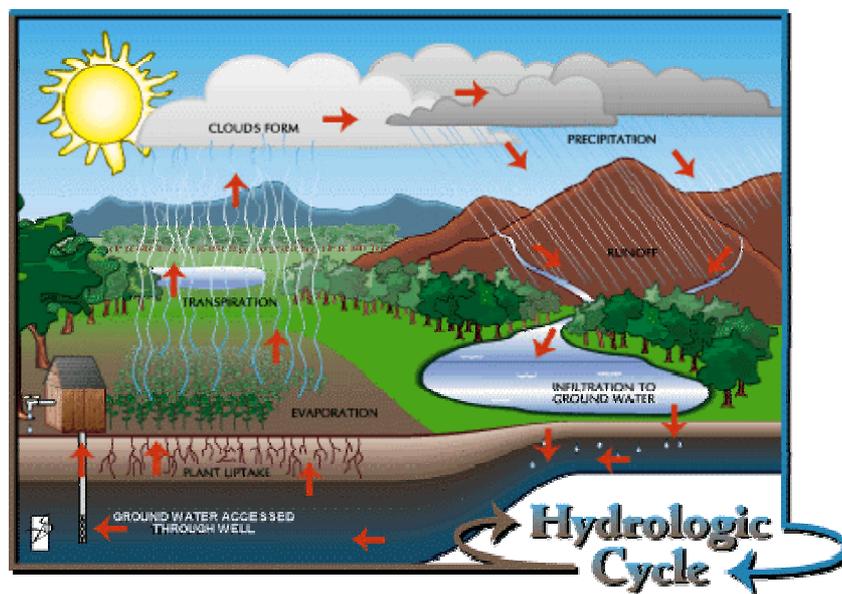


Figura 1: Il ciclo integrale dell'acqua.

Tutti i corpi idrici permettono e sostengono la vita degli organismi viventi, animali e vegetali e costituiscono sistemi complessi.

L'acqua procura diversi tipi di vantaggi economici importanti come materia in sé, e come mezzo d'assimilazione degli scarichi.

Sono comunque tre le principali forme di utilizzo dell'acqua da parte dell'uomo, rispettivamente legate al consumo in *agricoltura* che è pari al 70% del totale, nelle *attività industriali* per il 20% e nell'utilizzazione per *usi domestici* intorno al 10% (tali valori si riferiscono alla media dei consumi sul pianeta senza distinzioni tra le

differenti realtà economiche) ¹.

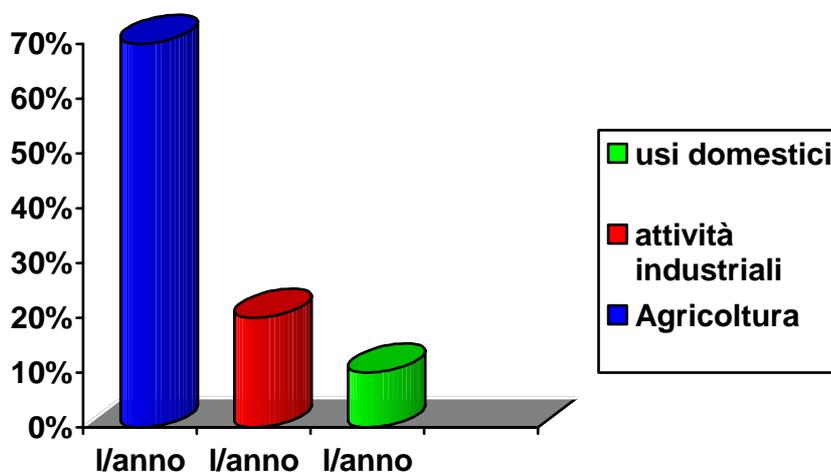


Figura 2: *Diagramma a barre sulle tre principali forme d'utilizzo dell'acqua.*

La salute individuale e collettiva dipende da questa ultima.

La crisi idrica con cui il mondo scientifico si sta confrontando in questi ultimi decenni, non è semplicemente legata all'incremento della popolazione mondiale, (oggi sono circa sei miliardi gli abitanti del pianeta) ma ad una molteplicità di fattori fundamentalmente legati alla gestione di questa indispensabile sostanza.

Con queste premesse sarà opportuno cercare di capire perché molti di noi non hanno acqua potabile di qualità accettabile ed in quantità sufficiente considerando che essendo insostituibile per l'ecosistema, l'acqua è un bene vitale che appartiene a tutti gli abitanti della Terra e la sua corretta distribuzione favorisce un miglior consumo con una riduzione degli sprechi e delle perdite.

¹ Cfr. "Il ciclo dell'acqua", www.trattoblu.com, 2005.

1.2 La rete di distribuzione

1.2.1 I serbatoi

La rete di distribuzione inizia sempre da un serbatoio.

I serbatoi hanno una duplice funzione, e precisamente quella di *compenso giornaliero*, fra le portate di massimo consumo e quelle di minimo consumo, e quella di *riserva* tendente ad avere in ogni evenienza una disposizione d'acqua in vicinanza dell'abitato (portata anti-incendio e riserva necessaria in caso di mancata alimentazione).

1.2.2. Il compenso

Per effetto della funzione di compenso il serbatoio deve accumulare nelle ore di minore consumo, e particolarmente durante la notte, le acque che arrivano dall'acquedotto esterno con portate pari alla media giornaliera e quindi in eccesso sul consumo. Le acque così accumulate saranno restituite dal serbatoio durante le ore di consumo superiore alla media, in modo che sommandosi con quelle che arrivano dall'acquedotto esterno permettono di fronteggiare le richieste delle ore di punta.

1.2.3 La funzione di riserva

Ha lo scopo di assicurare una risorsa idrica, sia pure modesta, durante i periodi in cui s'interrompe il funzionamento dell'acquedotto esterno a cause di guasti o anche per effetto di normale manutenzione. Non è possibile fissare dei limiti precisi per questa capacità di riserva, la quale deve essere sommata a quella di compenso, perché l'interruzione dell'acquedotto esterno potrebbe eventualmente verificarsi alla fine di un periodo di maggior consumo, quando in altre parole le capacità di compenso siano state esaurite. La capacità di riserva è determinata da

diversi fattori:

- Se l'acquedotto esterno è molto lungo;
- Se l'acqua in un punto qualsiasi dell'acquedotto esterno, sia soggetta ad un'elevazione meccanica o debba circolare in un impianto di potabilizzazione;
- La maggiore o minore previsione che si vuole fare del servizio antincendio.

Tenendo conto di tutte le circostanze anzidette, la capacità di riserva, per condizioni normali, è circa uguale alla portata giornaliera dell'acquedotto.

1.2.4 Distinzione dei serbatoi

I serbatoi possono essere, per quanto riguarda la loro posizione rispetto all'abitato, di *testata* quando si trova situato tra la condotta esterna e l'abitato; di *estremità* se la condotta esterna si prolunga nella condotta maestra che attraversa l'abitato e a cui si appoggia la rete, e sbocca poi nel serbatoio.

1.3 Rete di distribuzione

Per distribuzione s'intende l'insieme delle attività volte a somministrare l'acqua potabile al punto di consegna all'utente, pertanto essa comporta la gestione di tutte le opere, impianti ed apparecchiature comprese fra l'adduzione e l'allaccio delle utenze fino al misuratore di ogni singola fornitura (contatore).

Se il centro abitato è piccolo si avrà per lo più una condotta principale lungo la via più importante sulla quale vanno a chiudersi la maggior parte delle maglie che costituiscono la rete.

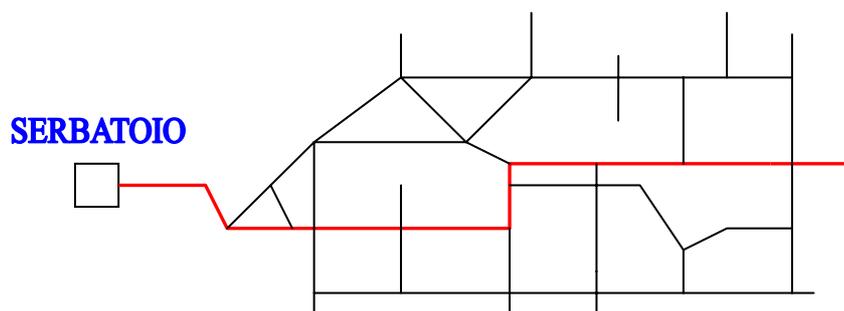


Figura 3: Esempio di rete idrica per piccoli centri urbani.

Per centri di maggiore estensione invece lo schema fisico d'alimentazione partendo dal serbatoio di riserva e compenso è costituito da una condotta, detta di “*avvicinamento*”. La condotta di “*avvicinamento*” normalmente arriva in un pozzetto stradale chiamato “*pozzetto di origine*” della rete di distribuzione.

A partire dal “*pozzetto di origine*” si diramano le tubazioni che costituiscono la vera e propria rete di distribuzione.

Le tubazioni sono tutte collegate tra loro in modo da formare tanti anelli chiusi al fine di assicurare la migliore ripartizione sia delle portate che della pressione d'esercizio. Inoltre, la chiusura ad anello delle condotte di distribuzione evita i ristagni d'acqua all'interno delle stesse.

E' buona norma che la condotta di “*avvicinamento*” sia la più grande di tutte le condotte della rete idrica urbana.

Le principali opere della distribuzione sono costituite dalle tubazioni installate lungo le strade urbanizzate dei centri abitati.

La distribuzione ad anelli delle condotte principali consente di assicurare il servizio in qualunque punto della città anche quando si deve interrompere in un punto una delle condotte principali per lavori di riparazione; essa inoltre offre la possibilità di maggiori richiami d'acqua

nel caso di richieste elevate, quali occorrono, durante gli incendi.

Naturalmente nella scelta del tracciato delle condotte maestre si terrà conto della configurazione planimetrica della rete, nel senso di far sì che l'acqua giunga nei diversi punti con percorsi brevi e diretti evitando percorsi troppo lunghi e innaturali; e si terrà conto dell'andamento altimetrico dell'abitato, cercando di evitare che una stessa condotta maestra debba servire zone a quote sensibilmente diverse².

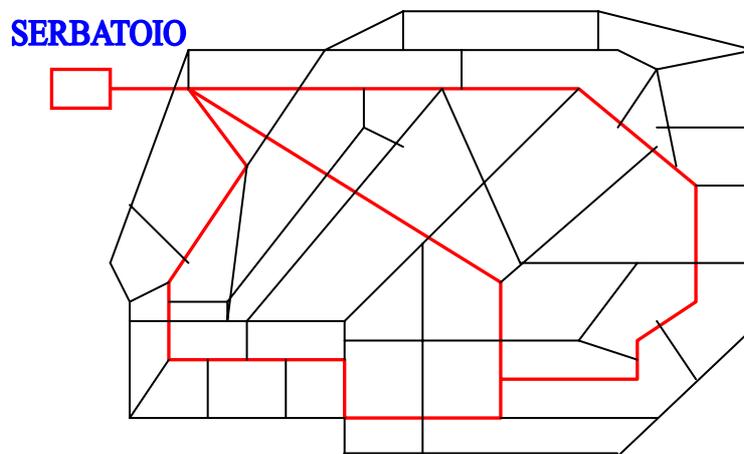


Figura 4: Esempio di rete idrica per grandi centri urbani.

1.3.1 Schema della rete

La rete di distribuzione deve essere calcolata, di norma, non per la stessa portata per la quale è stato calcolato l'acquedotto esterno, ma per la massima portata istantanea richiesta dagli usi cui l'acquedotto è destinato o, come si dice, per la *portata di massimo consumo o di punta*, solo in casi particolari (reti a servizio di un numero assai limitato d'abitanti) il dimensionamento della rete potrà essere compiuto con riferimento alla portata antincendio³. Di cui si dirà in seguito.

² Cfr. Girolamo Ippolito, " *Appunti di costruzioni idrauliche*", Luigi Editore, Napoli, 1993.

³ Cfr. Gaetano Fara " *L'ingegneria ambientale* " Editore C.I.P., Milano 1997.

Il rapporto tra la portata di punta e quella media, detto coefficiente di punta, non può essere agevolmente stabilito in sede di progetto, perché dipende da un gran numero di fattori che non si conoscono quando l'acquedotto non è ancora costruito.

Molto influisce l'uniformità maggiore o minore delle abitudini cittadine: se per ipotesi tutti gli abitanti si svegliassero alla stessa ora e alla stessa ora facessero le proprie abluzioni o cucinassero, la punta diventerebbe altissima.

Quando si consideri l'approvvigionamento di speciali Istituti come Collegi o Caserme in cui la vita di tutti i membri è regolata in modo particolarmente uniforme, il calcolo va fatto in base al numero dei rubinetti e degli apparecchi di erogazione presumendo che una percentuale alta di essi sia contemporaneamente in funzione.

In un centro abitato più o meno grande vi sono ceti diversi che hanno diverse abitudini di vita e nell'interno steso delle famiglie i singoli membri utilizzano l'acqua in ore diverse, anche la necessità di dover usufruire delle stesse comodità igieniche.

Ne risulta che quanto il centro abitato è importante, tanto meno alto sarà il rapporto fra portata di punta e portata media.

Nel calcolo di un nuovo acquedotto, non potendo prevedere le condizioni che, di fatto, si verificano, occorrerà riferirsi a quanto già avviene in centri abitati il più possibilmente analoghi per numero di abitanti, distribuzione dei ceti e abitudini di vita.

1.3.2 Condotte secondarie

Definito lo schema della rete e il tracciato delle condotte maestre che formano gli anelli principali, si passa allo studio delle maglie secondarie. Queste ultime sono quelle direttamente interessate alla

distribuzione della risorsa idrica. Solo quando le condotte maestre raggiungono diametri notevolmente grandi può convenire di affidare la distribuzione domestica nelle strade da esse percorse a delle condotte parallele di più modesti diametri, per non essere costretti a moltiplicare su grandi condotte il numero dei pezzi speciali che sono richiesti per le diramazioni domestiche.

1.3.3 Distinzioni delle condotte distributrici

Le condotte distributrici possono a loro volta essere distinte in due categorie: quelle che devono assolvere anche il servizio antincendio e devono quindi essere capaci di convogliare portate più elevate e quelle che hanno il solo compito della distribuzione privata. Nelle parti dove il piano stradale ha un tracciato regolare, con una serie di strade in un senso e un'altra serie in senso ortogonale, si suole dare alle condotte ortogonali il compito della semplice distribuzione mentre alle altre quello dell'antincendio.

1.4 Normativa tecnica di carattere igienico-sanitario⁴

1.4.1 Premessa

L'acqua assolve la funzione di pulire ed igienizzare, contribuendo così a prevenire le malattie ed assicurare un miglior livello di qualità della vita, a condizione però che l'acqua sia salubre dal momento che, in caso contrario, essa costituisce un formidabile fattore di diffusione delle malattie.

La crescente produzione di rifiuti industriali ed urbani ha, infatti, costretto a far uso di acque superficiali e sotterranee come ricettori di

⁴ Cfr "Acqua potabile" www.laserlab.it, 2005.

scarichi, spesso inquinati da sostanze tossiche o cancerogene (quali metalli, solventi, pesticidi, oli).

Basti considerare che 10 litri di trielina (del valore di circa 5 euro) sono in grado di inquinare 1 milione di m³ d'acqua, per la depurazione della quale sarà poi necessario sostenere un costo di 20 mila euro.

Si è reso quindi necessario elaborare a livello europeo una strategia integrata che garantisca al consumatore uno standard di qualità dell'acqua.

L'evoluzione del quadro normativo relativo alla tutela delle risorse idriche, determina una situazione del tutto nuovo rispetto al passato. La prima cosa da esaminare con attenzione, e tenendo conto delle informazioni scientifiche più aggiornate, riguarda le caratteristiche che devono necessariamente possedere le acque potabili per poter essere tranquillamente accettate ed usate come tali:

- Evitare che trasmettano malattie infettive;
- Essere certi che forniscano il loro contributo fondamentale per l'assimilazione d'elementi essenziali quali: il Calcio (C_a), il Fluoro (F), il Magnesio (M_g), lo Zinco (Z_n), il Selenio (S_e), ecc.;
- Evitare che causino l'assunzione di elementi e composti di elevata tossicità, specie cronica;
- Essere certi che durante il trasporto dagli acquiferi all'utente non sia alterata la qualità tanto da contaminazioni esterne (ad es. fogne e/o scarichi industriali), come pure da dissoluzione di elementi delle tubazioni (ad es. parti e/o guarnizioni di Piombo (P_b) e di altri composti tossici, come evidenziato da ricerche recenti), che non si inneschino processi di fermentazione e di proliferazione batterica nei serbatoio e lungo le tubazioni, nel tempo occorrente sino alla distribuzione finale.

Il principio è molto semplice: in primo luogo sono selezionati i

corsi d'acqua che potranno essere usati per produrre acqua potabile, scartando quindi quelle acque che, per la presenza di massicci insediamenti produttivi, dovessero essere eccessivamente inquinate; in secondo luogo sono dettate regole per prevenire un utilizzo, da parte dell'uomo, d'acqua che non abbia precisi requisiti di qualità.

1.4.2 D.Lgs. 31/01

Il DPR 236/88 è stato sostituito dal D. Lgs. 31/01 che stabilisce i requisiti di qualità che devono possedere le acque destinate al consumo umano, qualunque ne sia l'origine (siano esse prelevate direttamente alla fonte, o distribuite da acquedotti pubblici).

1.4.3 Requisiti delle acque destinate al consumo umano

Per acque destinate al consumo umano s'intendono tutte le acque che sono (D.Lgs. 31/01 art. 2):

- Destinate al *consumatore* (per usi domestici, tramite acquedotti o cisterne);
- Utilizzate da un'impresa alimentare come ingrediente per la fabbricazione, il trattamento e la conservazione di cibi e bevande;
- Distribuite da un'impresa alimentare tramite bottiglie o contenitori. Questa è una nuova forma di distribuzione dell'acqua destinata al consumo umano (da non confondere con le acque minerali naturali) denominata da talune aziende come "*acqua da tavola*".

Quindi il Dlgs 31/01 allarga il concetto di potabilità non solo alle acque destinate all'alimentazione, ma anche ad usi igienici o, più in generale, *domestici* (pulizia, innaffiamento, ecc.), poiché i rischi possono sussistere anche se dell'acqua non è fatto un uso alimentare (es. rischi di

dermatite per contatto con sostanze contenenti nichel, rischio di tumori cutanei per contatto con idrocarburi policiclici aromatici);

1.4.4 Valori limite

Le analisi tossicologiche di laboratorio non riguardano (né potrebbero riguardare) tutti gli innumerevoli composti chimici esistenti in natura (tanto più che ogni anno sono immessi nel mercato 500 nuove sostanze chimiche, i cui effetti sulla salute dell'uomo potrebbero essere di difficile determinazione). Si è scelto quindi di fissare degli standard di sicurezza per tutta una serie di parametri che più usualmente determinano l'inquinamento dell'acqua (riportati in allegato I al Dlgs 31/01) superati i quali il consumo dell'acqua diventerebbe pericoloso per la salute.

Le tabelle riportate in allegato I oltre ad introdurre nuovi parametri più specifici per la qualità delle acque, fissano limiti più restrittivi per i metalli valutati più tossici (piombo, nichel, arsenico)⁵.

Parametri	Unità di misura	Acque potabili (D. lgs. 31/01)
Cloruri	mg/L	250
Solfati	mg/L	250
Bicarbonati	mg/L	-
Sodio	mg/L	200
Potassio	mg/L	-
Calcio	mg/L	-
Magnesio	mg/L	-

⁵ Cfr. "Dlgs 31/01", attuazione della direttiva 98/83 CE, Gazzetta ufficiale N° 52, del 3/03/2001.

Residuo fisso	mg/L	1500
Conducibilità	μS/cm a 20 °C	2500

Tabella 1 - Valori limite per i parametri di composizione in acque ad uso umano.

Principali contaminanti	Unità di misura	Acque minerali (Decreto 31/05/ 2001)
Antimonio	μg/L	-
Arsenico	μg/L	50
Bario	mg/L	1
Benzene	μg/L	-
Benzo	μg/L	-
Boro (come B)	mg/L	5,0
Cadmio	μg/L	3
Cianuro	μg/L	10
Cromo	μg/L	50
Fenoli	μg/L	0,5
Piombo	μg/L	10
Mercurio	μg/L	1
Nichel	μg/L	-
Rame	μg/L	1000
Selenio	μg/L	10
Nitrati	mg/L NO ₃	45 _10
Nitriti	mg/L NO ₂	0,02
Idrocarburi	μg/L	10
Idroc. Polic. aromatici	μg/L	0,1 -0,05
Pesticidi	μg/L	0,5 in totale
Tetracloroetilene	μg/L	0,1-0,5
Comp.organoalogenati	μg/L	0,1-0,5

Vanadio	µg/L	-
Zinco	µg/L	-
Ammonio	mg/L	-
Alluminio	µg/L	-
Ferro	µg/L	-
Manganese	µg/L	2000
Tensioattivi	µg/L	25-100
Fluoruro	mg/L	-

Tabella 2 - Valori limite per i principali contaminanti in acque destinate al consumo umano.

1.4.5 I controlli

E' diffusa la convinzione che il controllo di qualità sull'acqua erogata sia unicamente o prevalentemente di competenza della struttura sanitaria (ASL). Invero tale convinzione è errata perché contrasta con precise disposizioni normative nazionali, e con direttive e circolari delle Regioni per richiamare l'attenzione degli enti acquedottistici sul rispetto di una così delicata funzione di controllo ai fini della garanzia della qualità dell'acqua erogata.

I controlli obbligatori che il Dlgs 31/01 prevede sono di due tipi:

➤ I *controlli esterni*, di competenza dell'ASL, mirano ad accertare la qualità dell'acqua distribuita per il consumo umano onde adottare, in caso di fornitura d'acqua di qualità non conforme, i provvedimenti necessari a salvaguardare la salute pubblica e, in ogni caso, per applicare le sanzioni previste;

➤ I *controlli interni* sono controlli che l'ente gestore dell'acquedotto (o il titolare dell'azienda alimentare) è tenuto ad eseguire per verificare e garantire egli stesso le condizioni di potabilità dell'acqua che va a distribuire alla popolazione (o che usa come ingrediente nel

ciclo produttivo di cibi e bevande). Gli acquedotti devono dotarsi di un laboratorio interno per il controllo analitico dei parametri del ciclo della potabilizzazione (*art. 7*). La legge consente altresì di appoggiarsi in tutto o in parte a laboratori esterni qualificati.

CAPITOLO SECONDO

METODO DI VERIFICA E DI PROPORZIONAMENTO DELLE RETE IDRICHE.

2.1 Premessa

Lo studio delle reti idriche si suole presentare in due forme diverse a seconda che la rete sia esistente, ed in tal caso si vuole verificare se è atta a soddisfare date condizioni di funzionamento, o che sia da costruire, ed in tal caso, note le condizioni di servizio e particolari caratteristiche di impianto, occorre assegnare i diametri dei singoli lati.

Entrambi le classi di problemi mirano alla fine di costruire reti in perfetta efficienza o di individuare, per porvi rimedio, le cause di deficienza riscontrate nel servizio di una rete, in altre parole nel cercare la soluzione che con il minimo sforzo finanziario, consente di fronteggiare anche le più gravose esigenze di servizio; ad esempio, fornire notevoli quantitativi d'acqua a punti lontani e sfavorevolmente situati.

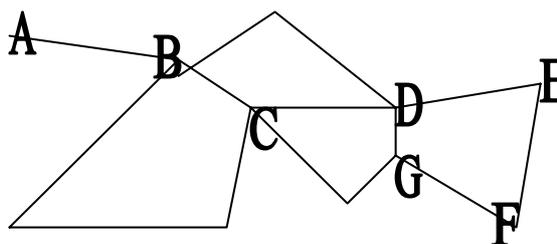


Figura 5: *Esempio di rete idrica*

Mirando a questo fine, si esporranno nelle pagine successive alcuni dei metodi principali per la soluzione dei problemi di verifica delle reti di distribuzione.

S'intende per *rete* un insieme di *maglie e ramificazioni* connesse tra loro in modo generico; per *nodo* i punti in cui convergono i punti di

una stessa condotta; si chiamerà *lato* una condotta avente per estremi due nodi consecutivi della rete; per *maglia* una qualsiasi poligonale chiusa ad esempio DEFG della fig. 5, che non ne contenga altre ed abbia in comune con ciascuna delle rimanenti almeno un lato; per *cammino o percorso* una qualsiasi poligonale aperta, ad esempio ABCDE della fig. 5, costituita dai lati da A a E.

Si chiamerà, infine, *congruente* quella distribuzione di portate per la quale in ogni nodo la somma delle portate in arrivo è pari alla somma di quelle in uscita (principio di continuità).

2.2 Il coefficiente di punta

Prima di proseguire nella dissertazione, sarà opportuno però chiarire il concetto che nel calcolo di un nuovo acquedotto, non potendo prevedere le condizioni che, di fatto, si verificheranno, occorrerà riferirsi a quanto già avviene in centri il più possibile analoghi per numero di abitanti, distribuzione di ceti e abitudini di vita utilizzando il *coefficiente di punta* c_p , che assume i valori in funzione del numero di abitanti serviti, riportati nel presente prospetto:

<u>ABITANTI</u>	<u>COEFFICIENTE DI PUNTA</u>
Fino a 10.000	$5 \div 3$
Da 10.000 a 50.000	$3 \div 2.5$
Da 50.000 a 100.000	$2.5 \div 2$
Da 100.000 a 200.000	$2 \div 1.5$

2.3 Problemi di verifica

Si è soliti definire problemi di verifica tutti quei problemi nei quali si ricerca il funzionamento di una rete quando ne siano stati assegnati le

lunghezze dei lati, i relativi, diametri, e gli attingimenti concentrati nei nodi o distribuzioni con data legge lungo i lati

Le incognite che risultano da tali problemi restano definite secondo la formula:

$$\sum (\pm q_i) \pm Q_i = 0 \quad (2.1)$$

Basterà risolvere il sistema formato da $n-1$ equazioni lineari indipendenti del tipo sopra riportato e delle M equazioni che esprimono il *principio di continuità dei carichi* applicato a ciascuna maglia della rete:

$$\sum (\pm h_i) = 0 \quad (2.2)$$

Alla risoluzione del sistema formato dalle precedenti espressioni, in sostanza impossibile per via algebrica diretta, si perviene con sufficiente rapidità grazie al *metodo di bilanciamento dei carichi* applicato per la prima volta da Hardy Cross alle reti idrauliche.

Il metodo consiste nell'operare con portate congruenti, vale a dire con portate che soddisfano identicamente la (2.1), tutte successivamente corrette fino a verificare la (2.2)

2.4 Metodo di bilanciamento dei carichi

Note o assunte le portate Q_i concentrate nei nodi si fissano ad arbitrio un senso positivo di circolazione, ad esempio orario, ed una distribuzione congruente di portate, cioè tale che, con le convenzioni adottate, in ogni nodo sia:

$$\sum (\pm q_i) \pm Q_i = 0 \quad (2.3)$$

Risulterà, in genere, per ciascuna maglia m :

$$\sum (\pm r_i q_i^2) \neq 0 \quad (2.4)$$

O come si suole dire: *la rete sarà sbilanciata rispetto ai carichi.*

Per il bilanciamento si procederà per successive approssimazioni, operando su ciascuna maglia, pensata isolata dalla rete, nel modo seguente.

$$\sum(\pm r_i q_i^2) = \Delta_m \quad (2.5)$$

Per annullare Δ_m basterà introdurre nella maglia una corrente circolatoria di portata p_m con senso di circolazione tale che risulti:

$$\sum[\pm r_i (q_i \pm p_m)^2] = 0 \quad (2.6)$$

La portata p_m così ottenuta, sommata algebricamente alle q_i rende soddisfatta la (2.1) e dà una prima correzione alla distribuzione iniziale di portate.

Questa operazione va compiuta per tutte le maglie della rete.

Alle portate defluenti lungo i lati comuni a due maglie vanno sommate algebricamente le p_m correttive relative alle due maglie stesse.

In tal modo, operando su di una maglia s'induce nella contigua, attraverso i lati comuni, uno sbilanciamento nelle maglie già corrette.

Si rende quindi necessario ripetere il procedimento. In genere bastano due o tre serie di bilanciamenti per giungere a risultati sufficientemente approssimati per gli scopi pratici.⁶

2.5 Calcolo della rete

2.5.1 Indeterminazione del problema

Tracciate la rete e definiti i compiti delle varie condotte, occorre procedere al calcolo della rete stessa.

Supponiamo dapprima che la rete debba fornire solamente acqua per gli usi normali e quindi tronco per tronco le portate distribuite già

⁶ Cfr. *Ronald V. Giles "Meccanica dei fluidi e idraulica", Etas colonna Libri, Milano, 1975.*

assegnate con i criteri che abbiamo detto innanzi. Il problema è teoricamente indeterminato. Infatti, se l sono i lati ed n i nodi della rete, sono incognite le portate iniziali q_i di ogni lato (le finali vengono di conseguenza) e la quote *piezometriche* y_i di ogni nodo, cioè $l+n$ incognite (in realtà $l+n-1$, essendo $n-1$ le quote piezometriche indipendenti). Fra loro però vi sono le n relazioni che legano le portate in ogni nodo, nel senso che la somma delle portate in arrivo deve eguagliare la somma di quelle in partenza (in realtà $n-1$ relazioni indipendenti, essendo una di esse combinazioni lineari delle altre). Le incognite indipendenti sono perciò in numero di l . Se si fissano alcune incognite (per esempio gli n valori delle quote piezometriche ed $l-n$ valori delle portate iniziali) si può per ogni tronco calcolare il diametro con la formula approssimata:

$$y_i - y_{i+1} = k_i \frac{(Q_{i+1} + 0.56Q'_i)l_i}{D_i^5} \quad (2.7)$$

Nella quale Q_{i+1} è la portata finale, Q'_i è la portata distribuita nel tronco ed è una quantità nota, e l_i , D_i e k_i sono rispettivamente lunghezza, diametro e coefficiente di resistenza del tronco.

Questa situazione ha spinto molti studiosi a risolvere il problema con un criterio di minima spesa, a ricercare in altre parole fra tutte le infinite soluzioni possibili quella che conduce ad un costo minore d'opera⁷

⁷ Cfr. Luigi Lipardi, "Calcoli idraulici", Puccin Editore, Padova, 1990.

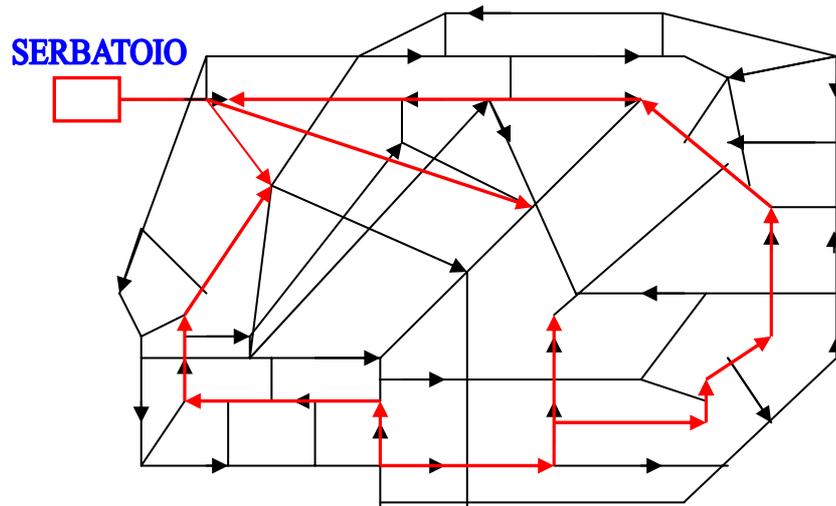


Figura 6: Esempio di rete idrica con andamento dell'acqua.

2.5.2 Andamento della superficie piezometrica

L'andamento della superficie della linea piezometrica, è quella superficie passante per tutti del livello piezometrico nei vari nodi della rete. Questa superficie deve rispondere ai seguenti requisiti:

- *Essere sempre sufficientemente alta sul piano di campagna in modo da assicurare una pressione a livello stradale corrispondente all'altezza dei rubinetti dei rubinetti più alti;*
- *Avere un carico sui rubinetti stessi nell'ordine dei cinque metri (per garantire un'adeguata portata, oltre che ai rubinetti agli apparecchi domestici, quali lavabiancheria, lavastoviglie, scaldabagni, ecc.);*
- *Assicurarsi in ogni tronco una pendenza piezometrica, nel senso predisposto per il cammino dell'acqua, sufficiente perché i diametri dei tubi non siano eccessivamente grandi, anzi tali che i diametri successivi delle condotte principali e delle principali derivazioni vadano diminuendo nel senso del cammino dell'acqua.*

2.5.3 Determinazione del problema

Una volta precisate queste condizioni il problema da indeterminato diventa determinato: è possibile, infatti, partendo dalle estremità a valle e sommando man mano le portate distribuite ad ogni singolo tronco stabilire per tutti i tronchi, la portata iniziale q_i e quella finale Q_{i+1} , la cui differenza è uguale alla portata q_i distribuita nel tronco. Il calcolo si farà per ogni tronco in base alla portata equivalente, che è quella portata fittizia che ci dà le stesse perdite di carico alla fine della condotta considerata, utilizzando la formula (2.3), ed in base alla perdita di carico corrispondente alla differenza delle quote piezometriche relative alle due estremità del tronco e desunte dall'andamento generale delle piezometriche già fissato. Naturalmente poiché i diametri disponibili in commercio come mostrati nelle tabelle seguenti non variano con continuità, si adopererà per ogni tronco il diametro immediatamente maggiore solo per i tronchi più lunghi può convenire adottare due diametri successivi invece di un diametro unico.

Si riporta nel successivo capitolo l'esempio di verifica della rete idrica esistente e funzionante nel Comune di Pallagorio.

CAPITOLO TERZO

RETE IDRICA DI PALLAGORIO (KR)

3.1 Premessa.

Considerato che la popolazione attuale, secondo i dati acquisiti dal sottoscritto nell'ufficio anagrafico del comune di Pallagorio, è di residenti 1510 suddivisi in 577 famiglie distribuite per la maggior parte tra: Corso Vittorio Emanuele, una delle diramazioni principali del paese che la percorre per intero da un'estremità all'altra, e Via Carmine dove si svolge tutti i venerdì il mercato comunale.

Previo sopralluogo e ricognizione accurata della situazione in atto si stabiliva che:

➤ *La portata media* nella condotta (Q_m), che si ricava dal prodotto della dotazione idrica ($250 \frac{l}{g} * Ab$) per il numero degli abitanti di Pallagorio 1510 è di 4.37l/s;

➤ *Il coefficiente di punta* considerato, il numero d'abitanti secondo la formula: $(5:3):1000 = (x-3):(10000-1510)$ è di 4,70;

➤ *La portata di punta* (Q_p), che si ricava dal prodotto della portata media (Q_m) per il Coefficiente di punta (C_p) è di 20.54l/s.

La rete idrica del paese inizia dal serbatoio d'accumulo che si trova ad una quota di seicentotrenta metri dal livello dal mare, utilizzando una condotta in polietilene ad alta densità DN 125, fino ad arrivare al serbatoio di compenso lungo il ripartitore, da dove continua la condotta in PEad DN 125 e inizia quella DN 160 per arrivare alla condotta detta "sub-urbana", per l'avvicinamento al centro urbano ubicata nel pozzetto tra l'incrocio tra Via Spolingari e Corso Vittorio Emanuele. Da questo punto in poi due tubazioni in PEad DN 110 (sul quale si appoggiano tutti gli allacci e gli spillamenti) e PEad DN 160

arrivano fino al "*pozzetto di origine*" ubicato tra Corso Vittorio Emanuele e Via Carmine dove finisce la condotta in PEad DN 160 e si diramano tre tubazioni di cui due in PEad DN 110 in direzione Via s.p Pallagorio-Zinga e Via Carmine e una che continua per tutto Corso Vittorio Emanuele fino a chiudere le maglie. Le condotte secondarie che si diramano dalle linee principali verso le parti periferiche del paese, sono per la maggior parte in PEad DN 50 o PEad DN 60 oppure in acciaio di \varnothing 80 e in taluni casi anche in ghisa con un diametro che oscilla tra \varnothing 60 e \varnothing 80.

Utilizzando una cartina aereo-fotografica (allegato I), reperita nell'ufficio tecnico comunale, si è proceduto in seguito ad una schematizzazione generale delle maglie principali della condotta idrica del paese, in modo da distinguere nettamente quattro maglie che racchiudono per intero le condotte principali, dalle quali si diramano diverse derive che procedono alle utenze periferiche della condotta idrica.

- La prima di queste derive si trova in Via Conte a servire un'utenza di 129 abitanti utilizzando una tubazione in PEad DN 75;
- La seconda deriva si trova in Via Scesa Carmine a servire un'utenza di 133 abitanti utilizzando una tubazione in PEad DN 50;
- La terza si trova in Via Roma a servire un'utenza di 147 abitanti attraverso una condotta in Ghisa \varnothing 60;
- L'ultima delle derive invece si trova in Via Cona a servire un'utenza di 211 utilizzando una tubazione in Ghisa \varnothing 60.

Così facendo si riescono a distinguere dieci nodi che derivano dall'intersezione delle condotte delle quattro maglie considerate.

3.2 Stato di fatto.

La situazione della rete idrica del Comune di Pallagorio è attualmente costituita da parti che versano in uno stato di degrado fisico e quindi di potenziale pericolo per l'incolumità della popolazione.

Gli interventi di verifica della rete idrica avranno lo scopo di eliminare, per le zone interessate dallo studio, i potenziali pericoli e di rendere l'erogazione idrica più funzionale e più efficiente dal punto di vista strettamente igienico-sanitario.

La condotta del Corso Vittorio Emanuele presenta, le solite pecche di tenuta e pressione per via del fatto che, in questa zona, in passato i cittadini tuttora residenti hanno provveduto a proprie spese a collegarsi alla rete idrica attraverso la posa in opera di un tubo di acciaio che versa in condizioni fisiche ed igieniche precarie. È dunque opportuno intervenire per garantire all'erogazione dell'acqua una qualità che allo stato attuale dei fatti non esiste.

Per quanto riguarda gli interventi in Via Roma, l'urgenza è suggerita dalle continue lamentele dei cittadini residenti costretti a fare i conti il rischio di perdite d'acqua continue dovute ad allacci abusivi o non controllati, data la presenza di numerosi lotti adibiti a colture situati a valle della stessa via Roma.

3.3 CALCOLI DI VERIFICA DELLA RETE IDRICA

$$Q_i = N^{\circ}Ab * Dg = 1510Ab * 250 \frac{l}{gAb} = 377500 \frac{l}{g}$$

$$377500 \frac{l}{g} : 86400s = 4,37 \frac{l}{s}$$

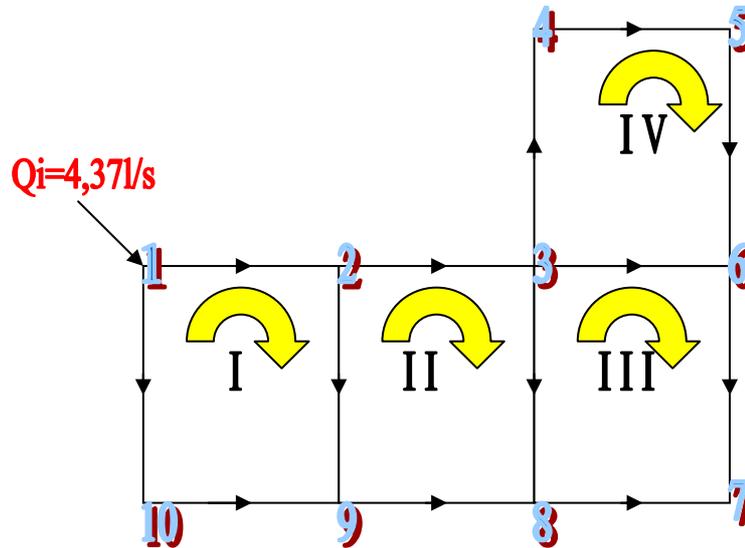


Figura 8: I schematizzazione rete idrica.

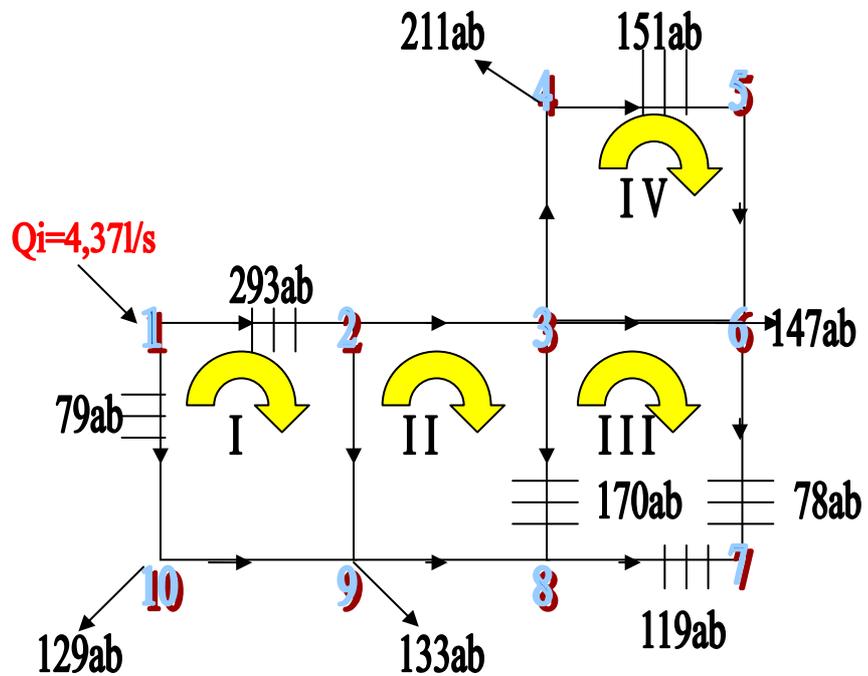


Figura 9: II Schematizzazione rete idrica.

$$Q_m = N^\circ Ab * Dg = N^\circ Ab * 250 \frac{l}{gAb} \quad Q_m = \frac{l}{g} : 86400s \longrightarrow \frac{l}{s}$$

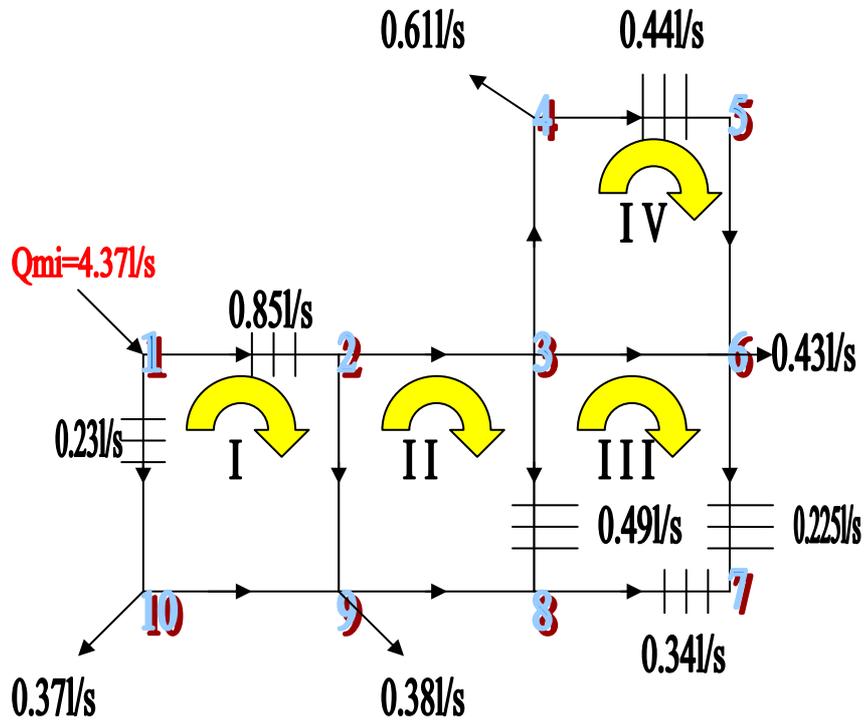


Figura 10: Portata media (Q_m).

$$293Ab : 79Ab = 3,71 = 3,71x + x = 4,37 \frac{l}{s} = 4,71x = 4,37 \frac{l}{s}$$

$$x_1 = 4,37 \frac{l}{s} : 4,71 = 0,93 \frac{l}{s} = x_2 = 4,37 \frac{l}{s} - 0,93 \frac{l}{s} = 3,44 \frac{l}{s}$$

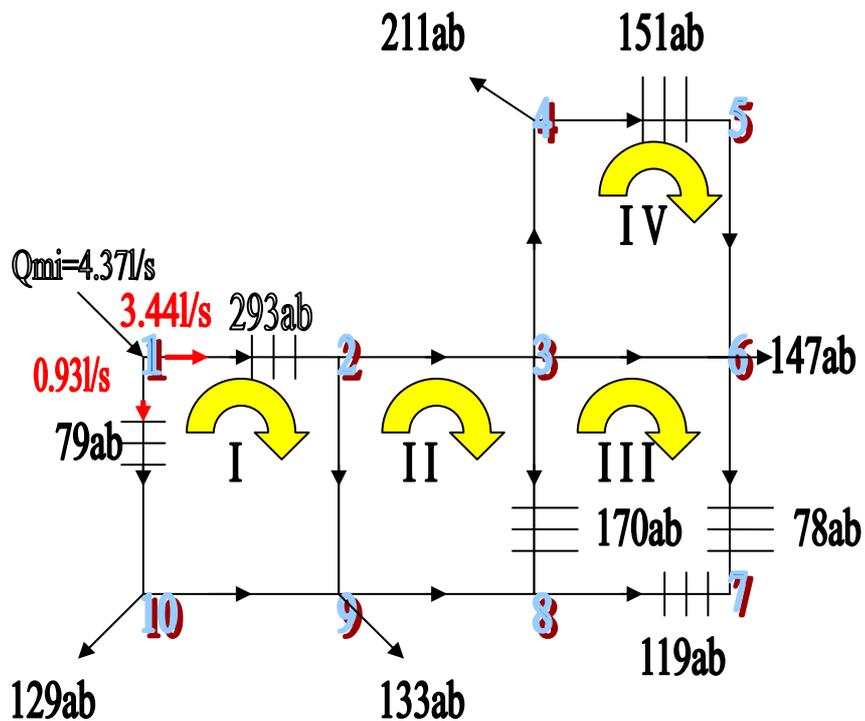


Figura 11: Distribuzione dell'acqua in portata media (Q_m).

$$Q_1 = Q_2 + \frac{Q_e}{\sqrt{3}} \text{ con } Q_2 < Q_1$$

$$Q_1 = 3,44 \text{ l/s} : 2,59 \text{ l/s} + Q_e \sqrt{3} = Q_1 = 1,47 \text{ l/s}$$

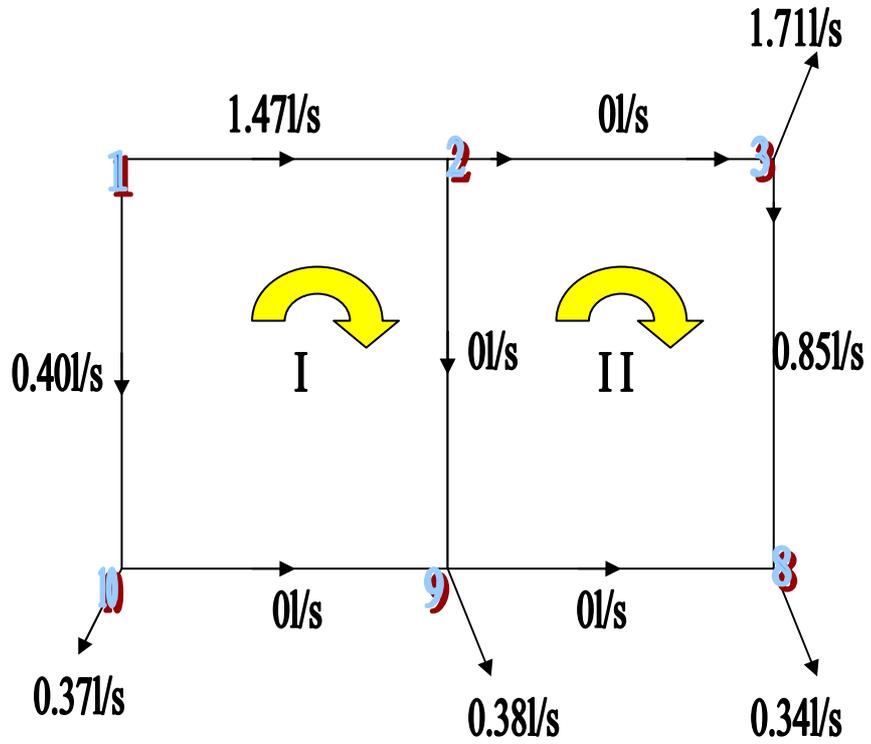


Figura 13: Portata equivalente (Q_e).

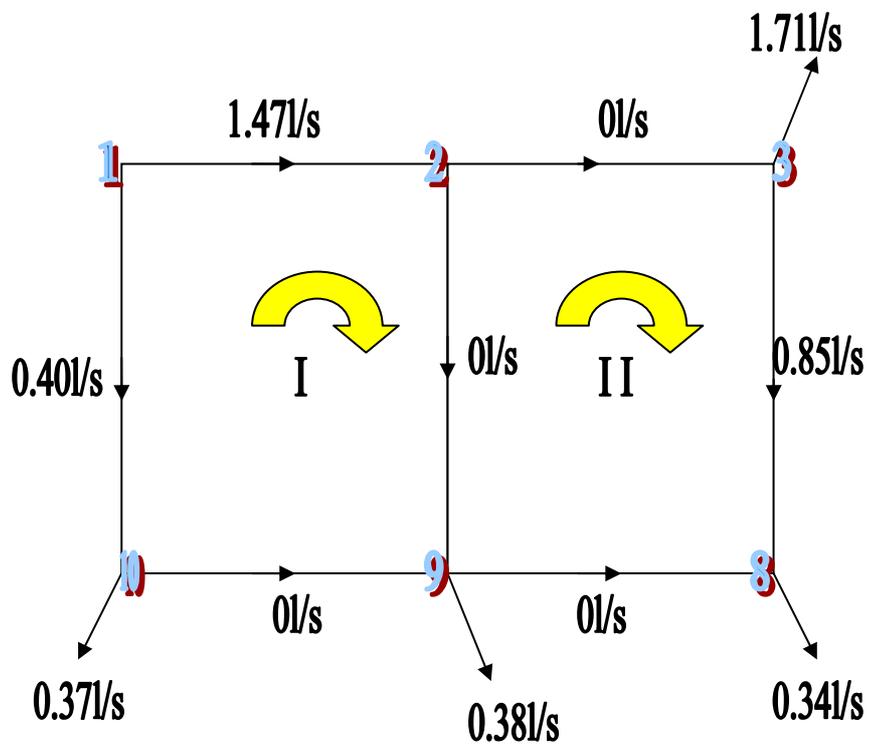


Figura 14: Il cross (Q_m).

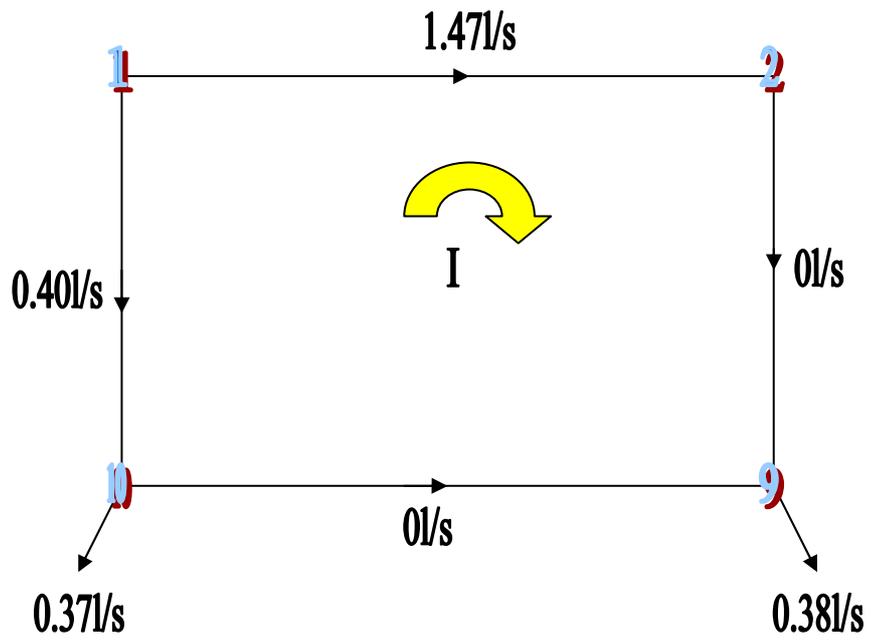


Figura 15: Il cross (Q_m).

$$\Delta m = [1,47^2 + 0^2 (0^2 + 0,40^2)]r$$

$$P = -\frac{\Delta m}{2(\sum Qi)}$$

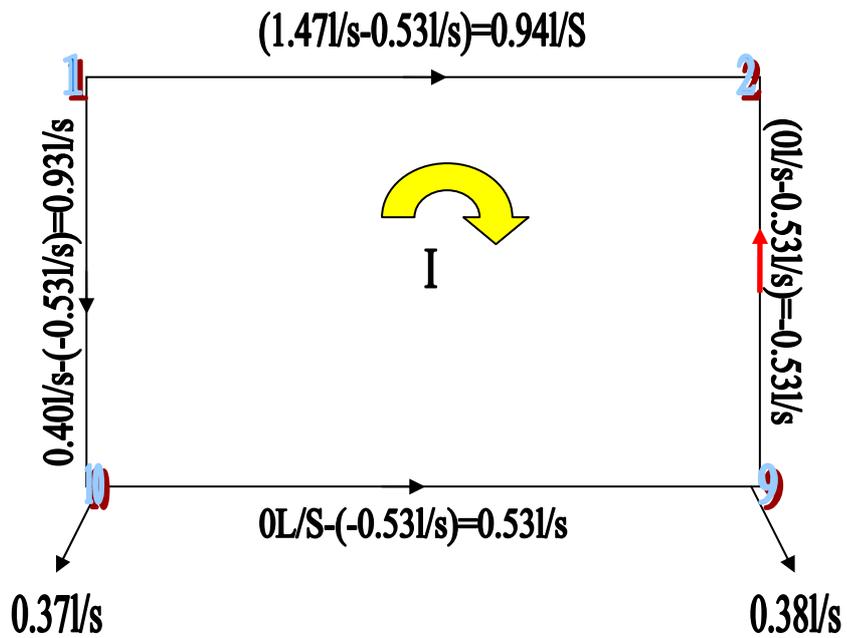


Figura 16: Il cross (Q_m).

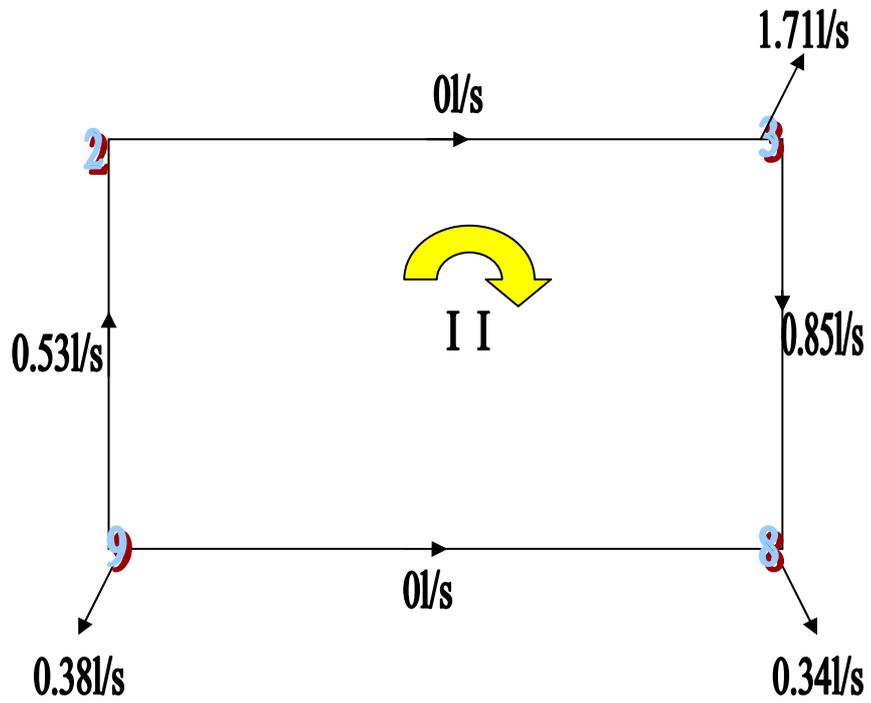


Figura 17: Il cross (Q_m).

$$\Delta m \{0^2 + 0,85^2 - [0^2 + (-0,53^2)]\} r \{0,72 - 0,28\} r = 0,44r$$

$$P = -0,44 : 2,76 = 0,16$$

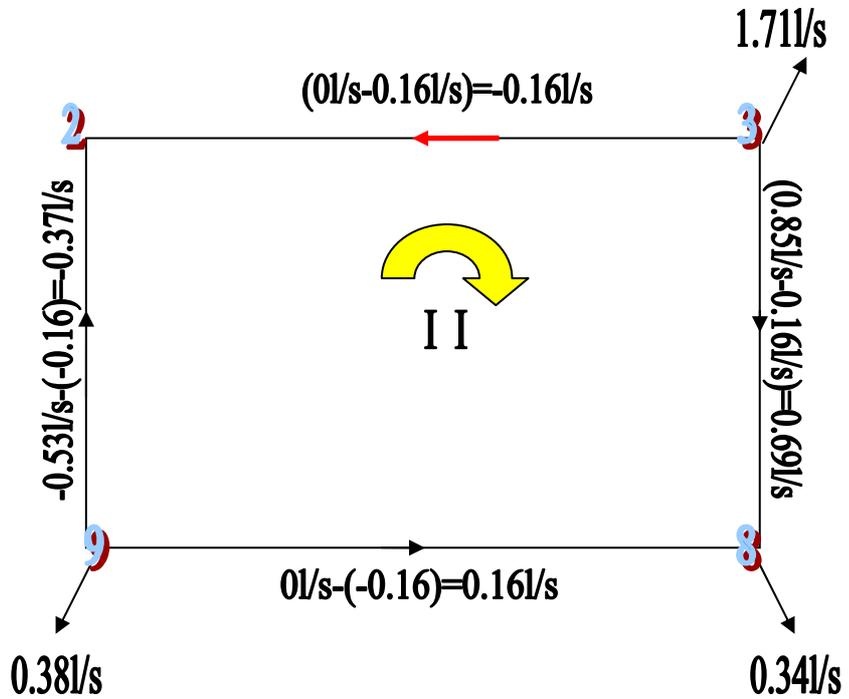


Figura 18: Il cross (Q_m).

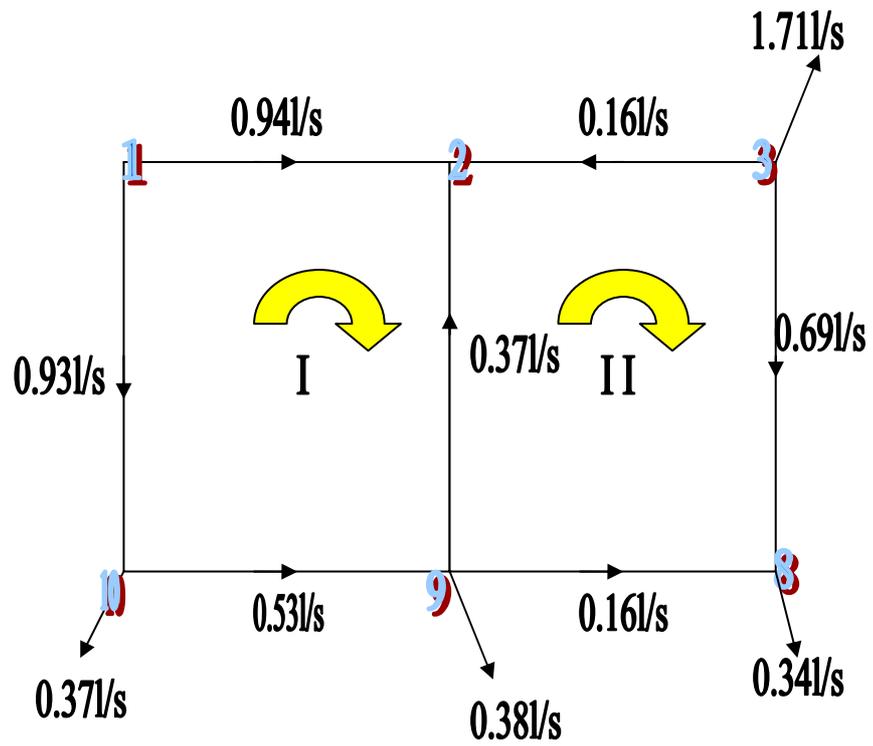


Figura 19: Il cross (Q_m).

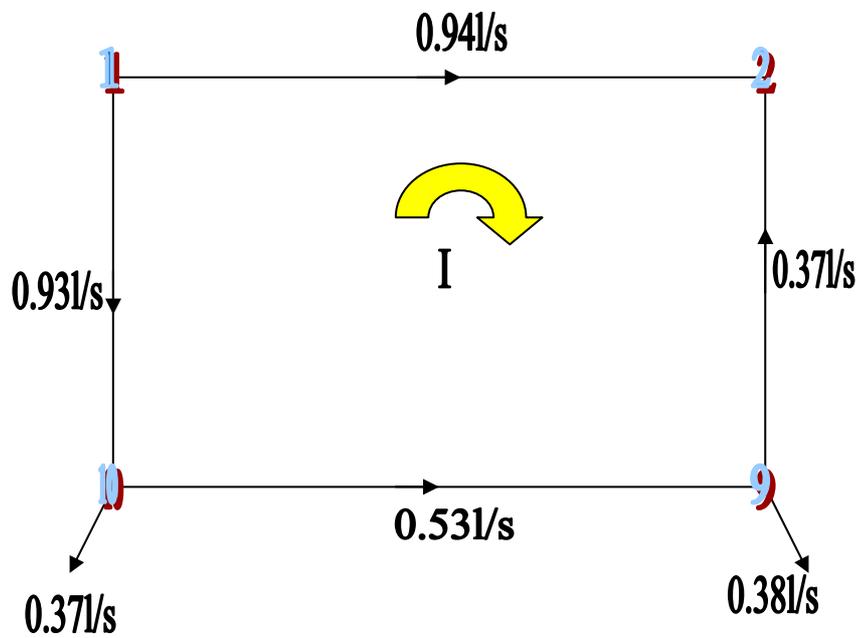


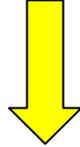
Figura 20: Il cross (Q_m).

$$\Delta m = [0,94^2 - 0,37 - (0,53 + 0,93)]r$$

$$\Delta m[0,88 + 0,14 - (0,28 + 0,86)]r$$

$$\Delta m[1,02 - 1,14]r = -0,12r$$

$$P = -\frac{\Delta m}{2(\sum Q_i)} = (-0,12) : 26,18 = 0,02$$



***DISTRIBUZIONE CORRETTA PERCHÉ SOTTRARRE 0.02
NON HA SIGNIFICATO RILEVANTE.***

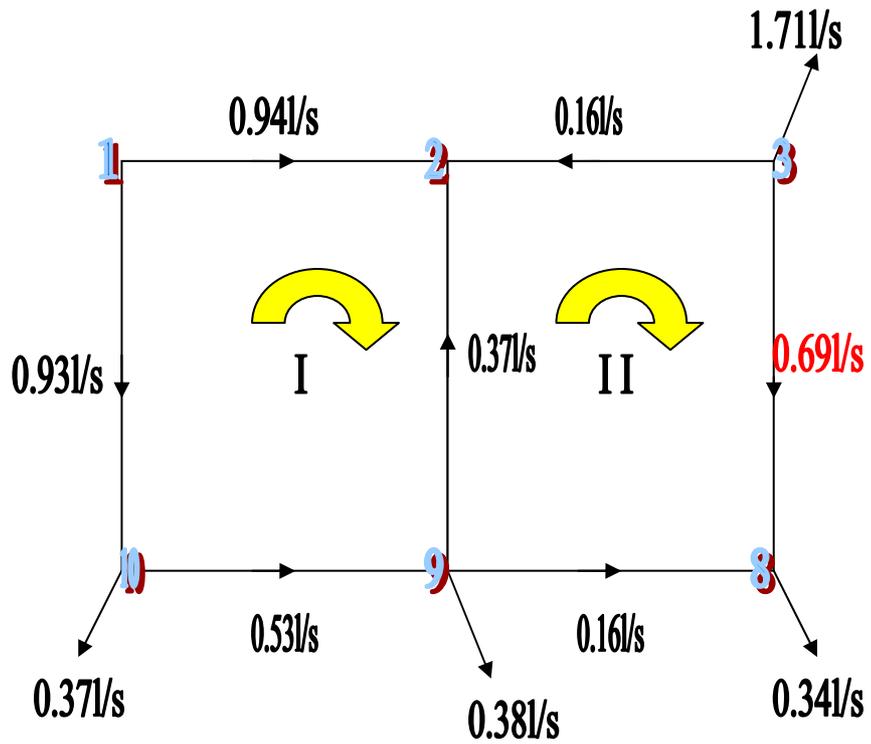


Figura 21: Ridistribuzione dell'acqua dopo il cross (Q_m).

$Q_{pi} = C_p * Q_m = C_p * 4,371/s \rightarrow C_p = \text{fino a } 10.000\text{ab oscilla tra } 5 \text{ e } 3.$
 Abitanti a Pallagorio $1510(5:3):10.000 = (x-3):(10.000-1.510)=4,70$

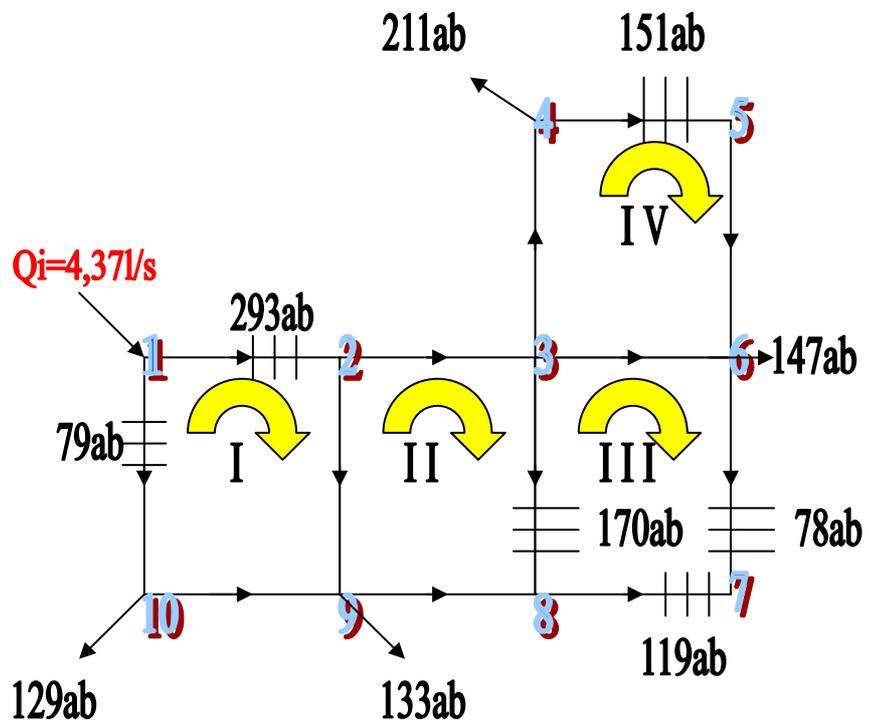


Figura 22: Portata di punta (Q_p).

$Q_{pi} = C_p * Q_m = 4,70 * 4,371/s = 20,541/s$

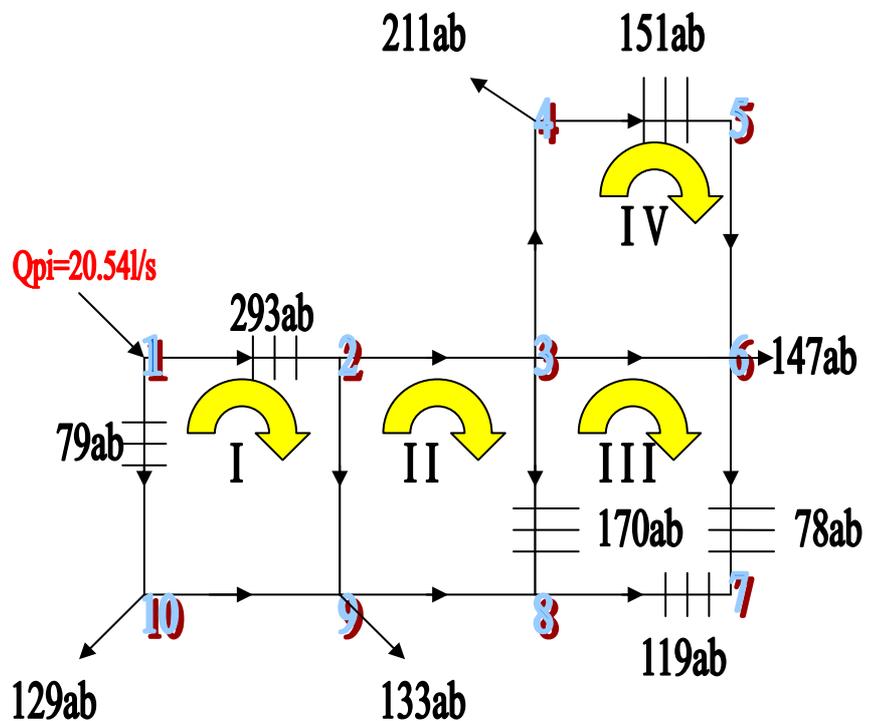


Figura 23: Verifica portata di punta (Q_p).

$$293Ab : 79Ab = 3,71 = 3,71x + x = 20,54 \quad 4,71x = 20,54 \quad l/s$$

$$x_1 = 20,54 \quad l/s : 4,71 = 4,36 \quad l/s = x_2 = 20,54 \quad l/s - 4,36 \quad l/s = 16,18 \quad l/s$$

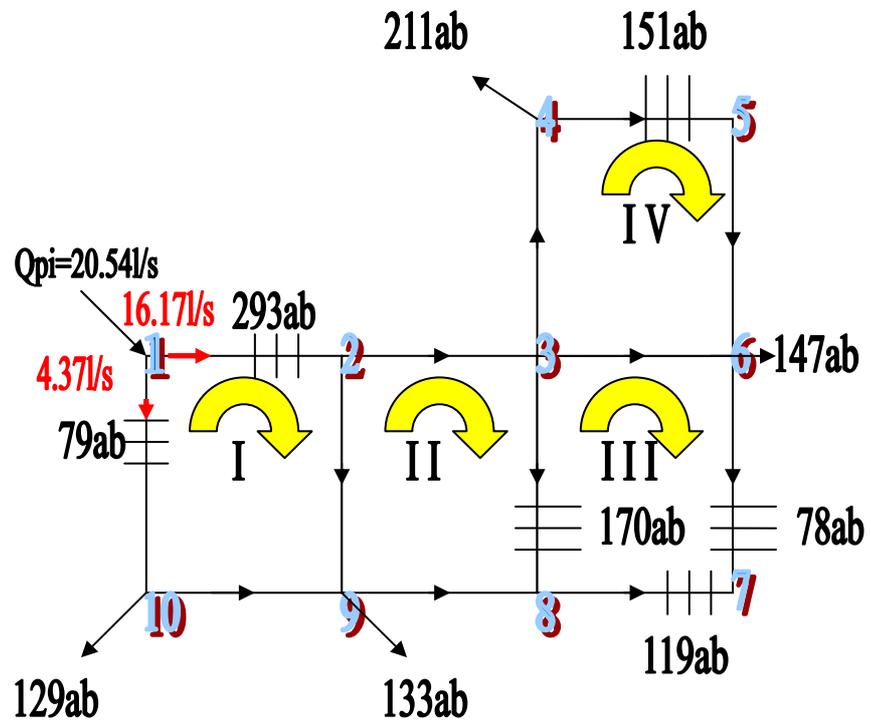


Figura 24: Distribuzione dell'acqua in entrata (Q_p).

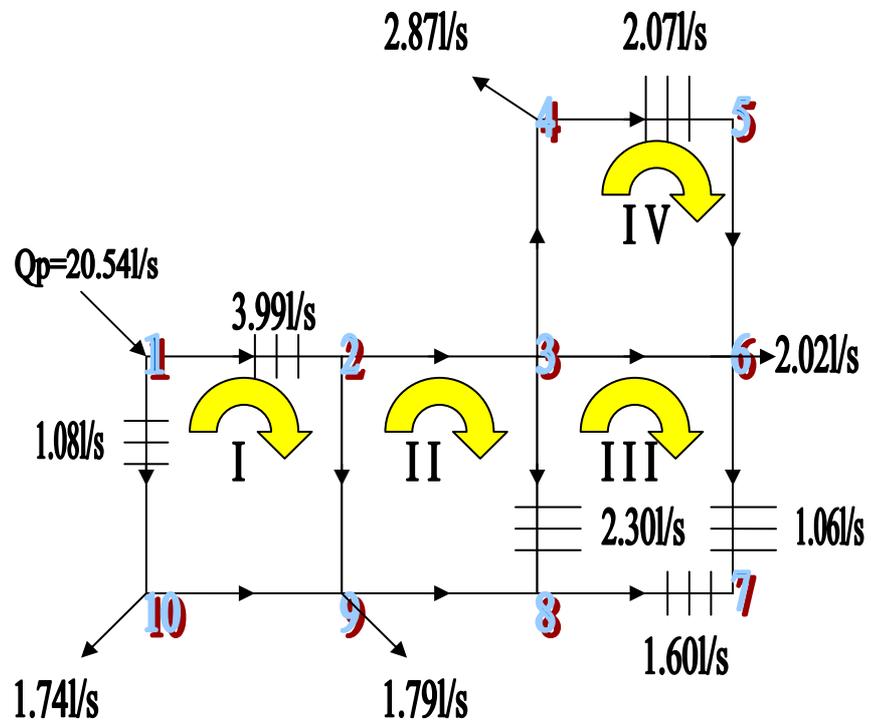


Figura 25: Portata di punta (Q_p).

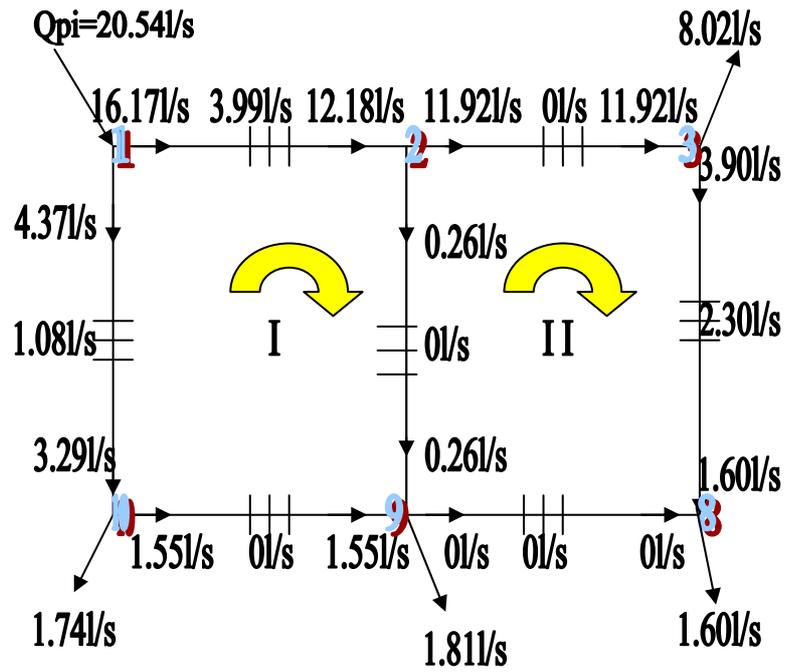


Figura 27: Particolare della distribuzione dell'acqua, Maglie I e II in (Q_p).

$$Q_1 = Q_2 + \frac{Q_e}{\sqrt{3}} \rightarrow Q_1 = 16,17 \text{ l/s} : 12,18 \text{ l/s} + Q_e \sqrt{3} = Q_1 = 6,91 \text{ l/s}$$

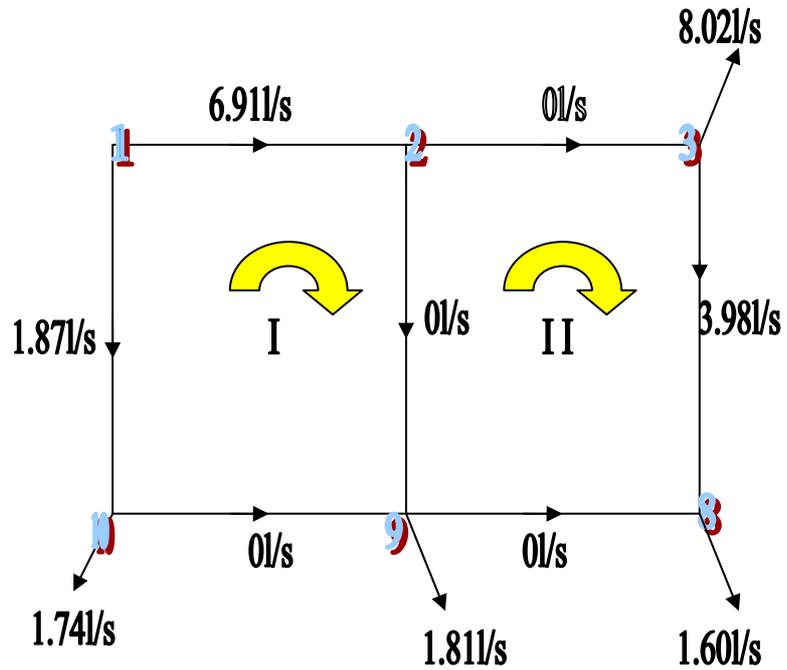


Figura 28: Portata equivalente (Q_e).

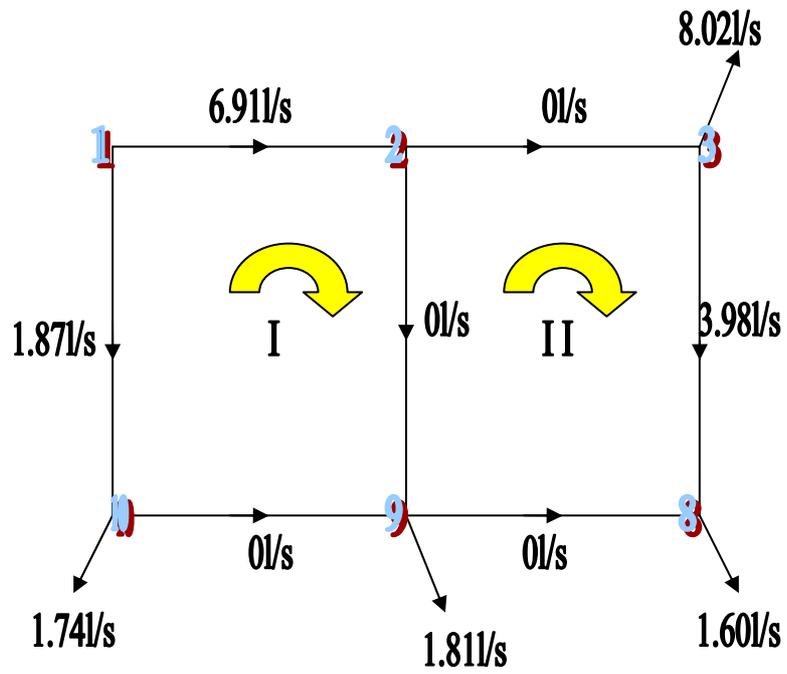


Figura 29: Il cross (Q_p).

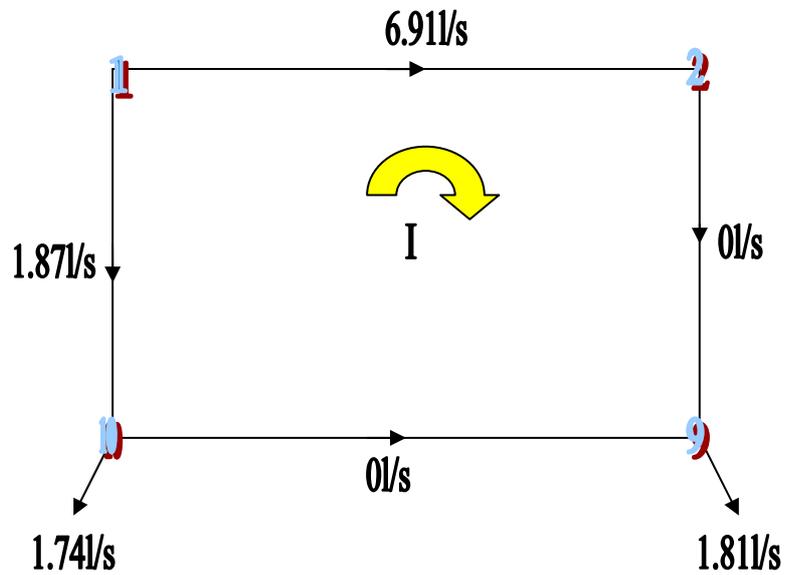


Figura 30: Il cross (Q_p).

$$\Delta m = [6,91^2 + 0^2 - (0^2 + 1,87^2)]r = 47,75 - 3,50 = 44,25r$$

$$P = -\frac{\Delta m}{2(\sum Q_i)} = -\frac{44,25}{17,50} = -2,52r$$

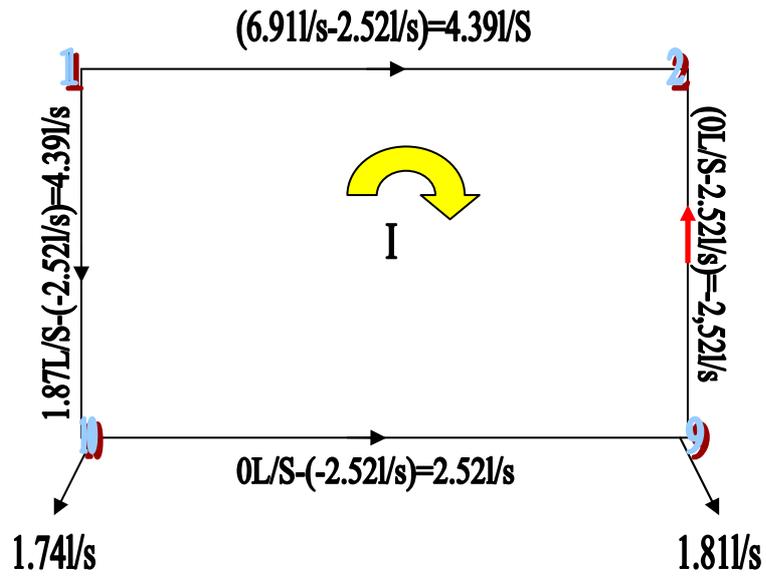


Figura 31: Il cross (Q_p).

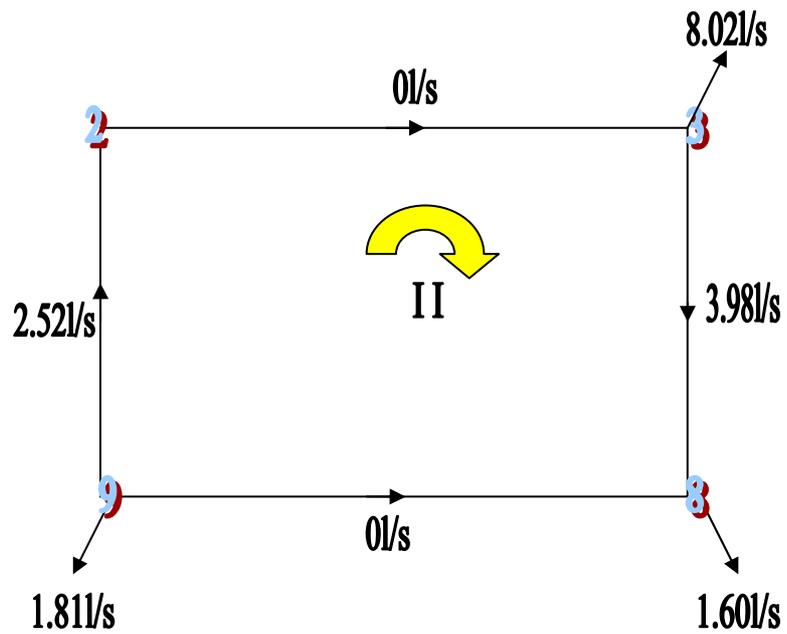


Figura 32: Il cross (Q_p).

$$\Delta m = \{0^2 + 3,98^2 - [0^2 + (-2,52^2)]\}r = [15,84 - 6,35]r$$

$$P = -\frac{9,49}{13} = 0,73$$

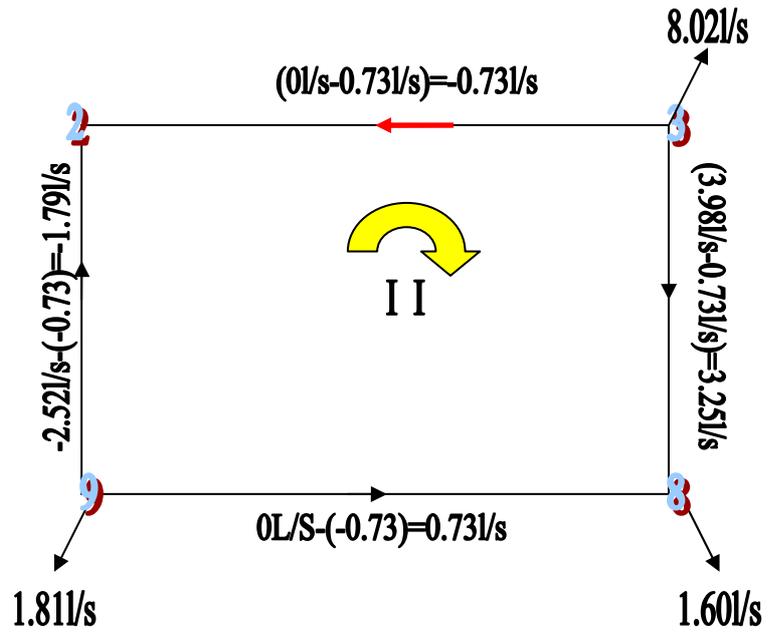


Figura 33: *Il cross* (Q_p).

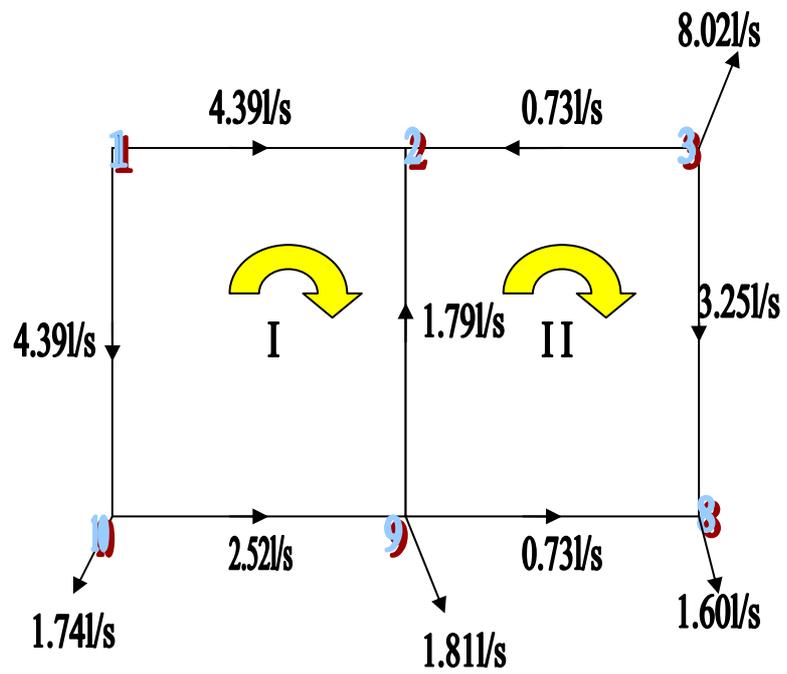


Figura 34: *Il cross* (Q_p).

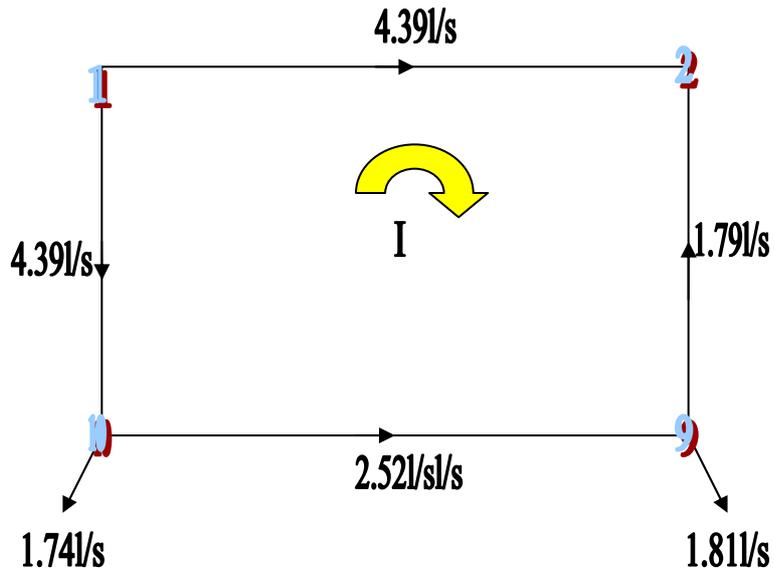


Figura 35: Il cross (Q_p).

$$\Delta m = [4,39^2 - 1,79^2 - (2,52 + 4,39)]r = \Delta m = [19,27 + 3,20 - (6,35 + 19,27)]r$$

$$\Delta m = [22,47 - 25,62]r = -3,15 = P = -\frac{\Delta m}{2(\sum Q_i)} = -\frac{3,15}{26,18} = 0,12$$



***DISTRIBUZIONE CORRETTA PERCHÉ SOTTRARRE 0.12
NON HA SIGNIFICATO RILEVANTE.***

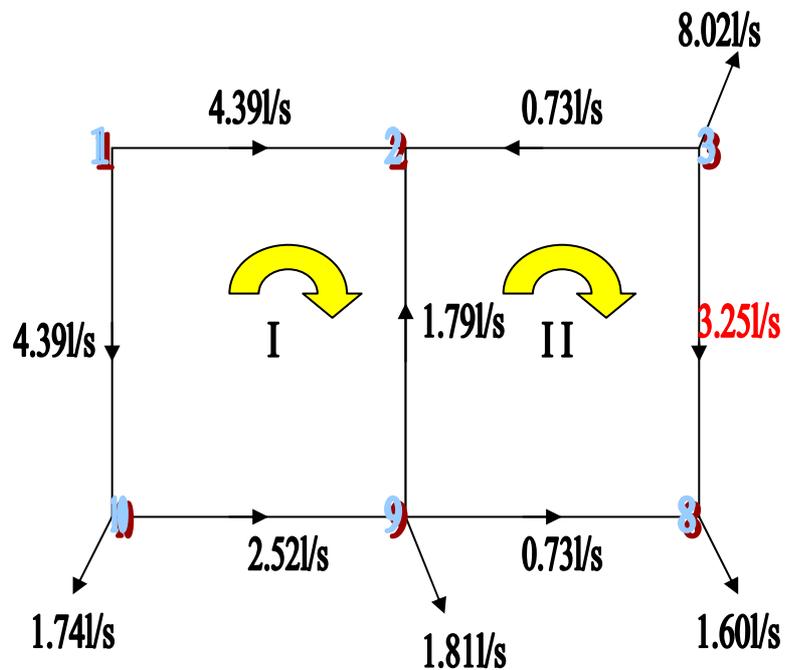


Figura 36: Ridistribuzione dell'acqua dopo il cross (Q_p).

CAPITOLO QUARTO

POTABILIZZAZIONE DELLE ACQUE

4.1 Premessa

Attraverso le procedure atte alla potabilizzazione delle acque, destinate al consumo umano, si cerca di migliorare la qualità della risorsa idrica sia dal punto di vista strettamente igienico-sanitario, nonché per quanto concerne le caratteristiche organolettiche.

Una delle caratteristiche che distingue la qualità della risorsa idrica è l'aggressività. Un'acqua si dice aggressiva quando danneggia le infrastrutture idrauliche (serbatoi e condotte costruite in cemento armato). L'aggressività è strettamente correlata con la presenza d'anidride carbonica libera che combinandosi con la calce libera dell'intonaco o del cemento determina un rilascio di bicarbonato solubile con conseguente disgregazione del calcestruzzo o dell'intonaco.

Un modo naturale che contribuisce all'arricchimento della risorsa idrica in termini d'anidride carbonica, è la pioggia; infatti, l'acqua meteorica, attraversando l'atmosfera, si combina con l'anidride carbonica presente nell'aria. Per neutralizzare l'aggressività insita in alcune acque si utilizza il latte di calce. In questa maniera l'anidride carbonica in eccesso si combinerà con la calce aggiunta senza intaccare quella utilizzata per la costruzione delle infrastrutture. Viceversa quando una acqua è molto povera di anidride carbonica viene chiamata incrostante, perché ha la capacità di incrostare le infrastrutture idriche (serbatoi e condotte)⁸

⁸ Cfr. "La nuova tutela del blu", www.trattoblu.com, 2002.

4.2 Disinfezione

Per quanto riguarda la disinfezione o purificazione dell'acqua si riportano di seguito i processi più utilizzati:

- *Raggi UV;*
- *Ozonizzazione;*
- *Clorazione:* clorazione semplice, clorazione frazionata e super clorazione.

4.2.1 Raggi ultravioletti

Questi sono prodotti con lampade di quarzo in atmosfera di mercurio l'acqua si purifica passando sotto forma di un leggero strato. Affinché il metodo possa funzionare è necessario avere l'acqua limpida.

4.2.2 Ozonizzazione

L'ozono è un gas azzurrognolo, d'odore particolare.

È un potente agente ossidante, attacca tutte le sostanze organiche e quindi attacca anche i germi distruggendoli.

L'ozono può essere prodotto artificialmente, sottoponendo l'ossigeno puro o l'aria a scariche, in particolari apparecchi, chiamati *ozonizzatori*.

Oltre ad ossidare e quindi a distruggere i batteri presenti, l'ozono esercita azione di correzione organolettica, è impiegato per l'abbattimento di alcuni odori o sapori.

Il processo d'ozonizzazione consta di due fasi:

- Produzione dell'ozono;
- Contatto dell'ozono con l'acqua da trattare.

Quando l'acqua da ozonizzare non è del tutto limpida occorre farla filtrare o sedimentare.

4.3 La clorazione⁹

La clorazione è senza ombra di dubbio il metodo più usato sia per il basso costo di esercizio, sia per la facilità di utilizzo. Per ottenere dal cloro un'azione disinfettante efficace dobbiamo determinare nell'acqua da trattare la quantità di cloro necessaria per ossidare tutto il materiale organico presente, dobbiamo vale a dire definire la *clororichiesta*.

4.3.1 Il Break-point

Una particolare modalità di clorazione è il cosiddetto metodo “*al limite di frattura*” o “*break-point*” degli americani. Se aggiungiamo cloro in quantità progressiva ad un'acqua distillata e segneremo i valori su assi cartesiani, avremo una retta a 45° nel senso che tanto cloro si aggiunge e tanto se ne ritrova.

Se si aggiunge cloro in quantità, progressiva ad una inquinata avremo che le prime quantità di cloro aggiunti avranno azione battericida, mentre l'altra parte sarà utilizzata per ossidare le sostanze organiche con formazione di sostanze quali le cloroammine ed altri componenti.

Questa seconda parte è il *cloro residuo attivo combinato*, che esercita ancora azione battericida.

Questo cloro residuo attivo continuando ad agire come ossidante scomparirà e con esso i cattivi odori e sapori legati appunto alle coramine e agli altri componenti.

Questo è il momento di frattura in cui troveremo un *cloro residuo pari a zero*.

⁹ Cfr. S. Barbuti, "Igiene e Medicina Preventiva", Monduzzi Editore, Rastignano (Bologna), 1999.

Se a questo punto aggiungeremo altro cloro, ci troveremo nella stessa situazione dell'acqua distillata, per cui essendo stata distrutta ogni sostanza organica, la quantità di cloro aggiunto sarà evidenziato come *cloro residuo libero*, il cui sapore è molto più tollerabile e ci garantisce dell'avvenuta potabilizzazione¹⁰. A titolo esemplificativo si riporta nel seguente paragrafo i calcoli per la clorazione nel comune di Pallagorio.

4.4 Calcoli di clorazione di Pallagorio

La clorazione si effettua sulla portata media (Q_m) espressa in giorni, avendo un valore di Q_m nel comune di Pallagorio di 377568 l/giorno , dato che la concentrazione del nostro disinfettante è di $0,3 \text{ mg/l}$, per evitare conseguenze negative sulla salute umana e quindi per sapere l'esatte quantità di disinfettante da utilizzare al giorno basterà moltiplicare la concentrazione del disinfettante con la portata media Q_m :

$$377568 \text{ l/giorno} * 0,3 \text{ mg/l} = 113270,4 \text{ mg/giorno} \quad (4.1)$$

Il risultato di questa operazione però ne richiede un'altra in quanto utilizzando un disinfettante al 6% (cioè non puro) per ottenere la quantità di prodotto effettivo sarà necessario impostare questa semplice equazione:

$$6 \text{ gr} : 100 \text{ ml} = 113,27 \text{ gr} : x \text{ K ml} \quad (4.2)$$

Da cui si ricava che:

$$x = 1887 \text{ ml} \cong 1,9 \text{ l} \quad (4.3)$$

¹⁰ Cfr. "la clorazione", www.arpat.it, 2003.

Tale quantità sarà aggiunta in un bidone di 50l d'acqua per meglio distribuire il nostro prodotto nell'arco dell'intera giornata mediante gocciolatura.

Per eseguire codesta operazione si può utilizzare uno dei tanti tipi di impianto di dosaggio proporzionale con contatore come quello in esempio nella figura 37

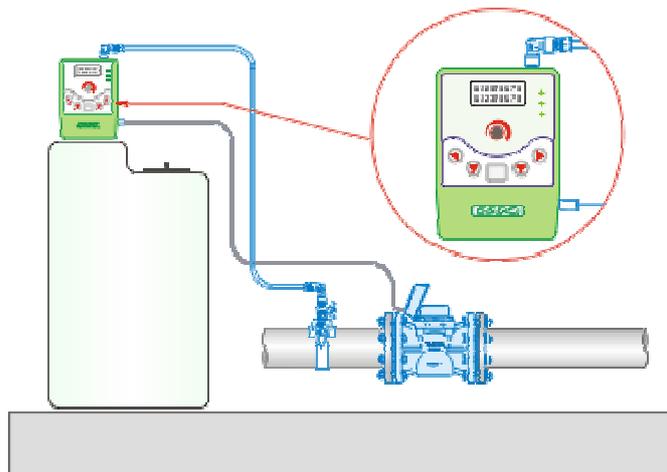


Figura 37: *Impianto di dosaggio proporzionale con contatore.*

CONCLUSIONI

Per verificare la rete idrica del comune di Pallagorio (Kr), considerata l'estrema difficoltà di concludere il procedimento, in quanto al variare di un lato della condotta si modificano di conseguenza tutti gli altri lati, si è adoperato il programma informatico denominato "Eraclito".

Servendosi dei metodi di bilanciamento di *Cross* sia in *portata media* (Q_m) che in *portata di punta* (Q_p), si sono inseriti nel calcolatore le quote altimetriche della condotta, e essendo note le portate medie (Q_m) e le portate di punta per ogni nodo (Q_p), si è così potuto verificare il funzionamento della rete idrica.

Dallo studio dei grafici e dei risultati della simulazione per i nodi e le tubazioni della condotta (allegato II, III, IV, V) si denotano delle modeste perdite nella rete idrica a valle del serbatoio e precisamente:

➤ Nel pozzetto ubicato all'incrocio tra Via Spolingari e Corso Vittorio Emanuele, a causa di tubazioni di acciaio ormai logore che andrebbero sostituite con più nuove e di materiale elettro disperdente per evitare anche i numerosi problemi verificatisi nelle operazioni di ordinaria manutenzione agli operai addetti, per la presenza in zona di cavi dell'alta tensione;

➤ In Via Roma, dove l'erogazione idrica potrebbe essere sicuramente migliorata eliminando gli allacci abusivi e non controllati, dovuti ai numerosi lotti adibiti a colture presenti a valle della stessa via Roma.;

➤ Di tutta altra natura invece sono le perdite che si riscontrano in Via Canale, per eliminare le quali andrebbero eseguiti studi più approfonditi in modo da ridistribuire meglio la risorsa idrica eliminando tutti gli allacci e gli spillamenti nei numerosi "porcili" ormai in disuso,

che contribuiscono anche all'irregolarità del normale deflusso dell'acqua con conseguente pecche di tenuta e pressione nelle utenze private della zona.

Va detto comunque che tutto sommato la condotta in esame permette una buona distribuzione d'acqua dal serbatoio fino alle utenze private, considerato che:

➤ Nei nodi l'altezza piezometrica, garantisce sempre un carico idoneo alla distribuzione dell'acqua dal serbatoio fino alle utenze private (allegato II, III);

➤ Nelle condotte la velocità di distribuzione non scende mai al di sotto dello zero garantendo in questo modo una sempre e costante fluidità dell'acqua evitando così ristagni pericolosi all'interno delle stesse, che potrebbero dar luogo a problemi di natura igienico-sanitari (allegato IV,V).

Per quel che riguarda invece le caratteristiche di natura strettamente igienico-sanitarie, secondo quanto stabilito dal *Dlgs 31/01*, in base agli esami svolti nel laboratorio di patologia clinica, settore di sanità pubblica, Dipartimento di Prevenzione A.S.L N°3 - Rossano (Cs), (allegato VI), su un campione di acqua prelevato dalla condotta, (*punto di acqua pubblica*), si evince che, i valori limite per i parametri di composizione in acque ad uso umano sono nella norma e che non vi è la presenza alcuna di principi contaminanti e che quindi i metodi di potabilizzazione sono efficaci.

BIBLIOGRAFIA

- Gaion. "*Esercizi di Idraulica*", Editore Dip. Image, 2000
- A.Gaion. "*Meccanica dei fluidi-Appunti delle lezioni di Idraulica*", Editore Dip.Image, 2000
- M.fazio "*Dizionario e manuale delle unità di misura*", Zanichelli, Bologna, 1990.
- Blaise Pascal "*Trattato sull'equilibrio dei fluidi*", Boringhieri, Torino, 1968.
- Ranald V.Giles "*Meccanica dei fluidi e idraulica*", Etas colonna Libri, Milano, 1975.
- Gaetano Fara "*L'ingegneria ambientale*" Editore C.I.P, Milano, 1997.
- Ennio Bellelli, "*Igiene Generale e Applicata*", Piccin Nuova Libreria, Padova, 2002.
- Paride Nobel, "*Fisica*", Editrice Ferraro, Napoli, 1997.
- S. Barbuti, "*Igiene e Medicina Preventiva*", Monduzzi Editore, Rastignano (Bologna), 1999.
- Sergio Papucci, "*Esperimenti e Idee della Fisica.*" Editore Ulrico Hoepli, Milano, 2002.
- M.Pagano, "*Fondamenti di Biostatistica*", Editore Gnocchi, Roma 1993.
- "*Il Ciclo dell'Acqua*", www.trattoblu.com, 2005.
- "*Le Reti Idriche*", www.inea.it, 2005.
- Girolamo Ippolito, "*Appunti di Costruzioni Idrauliche*", Luigi Editore, Napoli, 1993.
- "*Acqua Potabile*" www.laserlab.it, 2005.
- "*Dlgs 31/01*", Attuazione delle direttiva 98/83 CE, Gazzetta

Ufficiale n° 52, del 3/03/2001.

- Luigi Lipardi, "*Calcoli Idraulici*", Puccin Editore, Padova, 1990.
- "*Clorazione*", www.arpat.it, 2003.