

La gjestion otimâl de pression intes rêts di acuedot: aument de eficience di gjestion e riduzion dai coscj energjetics

MATTEO NICOLINI*,
PAOLO CASSINA E MASSIMO BATTISTON**

Ristret. In chest document o considerin il probleme de gjestion de pression intai sistemis di distribuzion di aghe potabile, di mût di ridusi la energjie doprade des pompis, la cuantitat di aghe straçade pes pierditis e il numar di riparazions che bisugne fâ sui tubui. Dopo di une piçule introduzion descriptive dal probleme e des cundizions al contor, o presentin une metodologije basade su algoritmis gjenetics (AG) a obietif singul e multipli che, partint dal model numeric de rêt, e fâs la calibratzion dal model e daspò e cir la posizion otimâl e la regolazion des valvulis di riduzion de pression (VRP), su la fonde di restrizions operativis che a scuegnin sei sodisfatis. In particolâr, il model di simulazion al ven calibrât midiant di un AG a codifiche réal a obietif singul, par otigni di une bande i valôrs dai coefficients di scabreçe dai tubui e di chê altre une valutazion de ri-partitzion de puartade alimentade inte rêt jenfri aghe distribuide pardabon a lis utencis e aghe dissipade traviers des pierditis de rêt. L'algoritmi multi-obietif NSGA-II al è stât implementât par cirí lis soluzions otimâls tal sens di Pareto, che a representin plusôrs nivei di compromès jenfri cost di instalazion des VRP e riduzion des pierditis. La aplicazion de metodologije a une rêt idriche réal e à permetût sparagns significatifs di energjie e di aghe, come che al è stât mostrât dal control dal sisteme. Cun di plui si son evidenziâts altris doi vantaçs: il numar di riparazions dai tubui si è ridusût a mancul di mieç pe riduzion dal regjim des pressures, permetint cussì al gjestôr di furnî un servizi plui eficient e afidabil; la aghe prevanzade e ven mandade intune cistierne di dipuesit che e rifurnîs une rêt idriche alimentade di pompis, sparagnant cussì une vore di coscj di pompe.

Peraulis clâf. Furnidure di aghe, pierditis, otimizazion, valvulis.

* Dipartiment di Chimiche, Fisiche e Ambient, Universitât dal Friûl, Udin, Italie.
E-mail: matteo.nicolini@uniud.it

** CAFC S.p.A., viale Palmanova 192, Udin, Italie.

1. Introduzion. L'aument dai coscj de energie, la diminuzion de disponibilitât di aghe e la dibisugne di otignî prestazions otimâls a son un pocjis di resons che, in dut il mont, a puartin lis aziendis che a gjestissin i acuedots a cjatâ fûr imprescj simpri plui bogns di ridusi lis pierditis te rêt come une des primis atividâts par optimizâ i investiments. Par cheste reson il control de pression, tant che mieç par ridusi lis pierditis tes rêts di distribuzion de aghe, al è deventât une des prioritâts pes aziendis di gestion dai acuedots.

Lis pierditis a compuartin:

- pierdite di aghe, che no pues sei consegnade ai utents e duncje no pues sei faturade;
- straçarie de energjie doprade par pompâ la aghe prime che e vegni dispierdude fûr dal tubul;
- straçarie dai reagjents chimics (p.e. clôr) doprâts par tratâ la aghe, cun pussibilis consequencis ambientâls;
- riparazion des pierditis, cun interuzion dal servizi ai utents o riduzion dal nivel di servizi (pierdite di pression, mancjât rispet dai standards contratuâi di servizi) e coscj di riparazion;
- ducj i coscj gjenerâi dal gjestôr che a pesin su la aghe no distribuide.

Di chê altre bande, se i sistemis idrics cun pressions elevadis a patissin la presince di pierditis (che a tindin a cressi cul lâ dal temp) e a pue din subî une quantitat insopuertabile di roturis intai tubui (cun interuzion dal servizi e lagnancis dai utents), i regjims di basse pression tantis voltis no garantissin un nivel di servizi acetabil dai utents e, dispès, a son lôr stes une consequence de incressite dal nivel di pierditis intal sisteme.

Al è une vore dificil mantignî une pression adeguade inte rêt idriche, massime in citâts che a cressin velocementri o in situazions dulà che a son fuartis diferencis altimetrichis tal teren.

Intal prin câs, la incressite inte domande di aghe e fâs in mût che i tubui che a costituissin la rêt a deventin inadeguâts masse adore: stant che i diametris dai tubui a vegnir dimensionâts sore une ipotesi di puartade di aghe, la incressite de domande e fâs deventâ inadeguade cualchi part de rêt, parcè che la puartade domandade e je deventade plui grande di chê di projet. Par furnî cheste puartade, la aghe e scugne vê une elevade velocitât intai tubui, e chest al compuarte fuartis pierditis di caric idraulic, e duncje di pression, par efiet dal atrít.

Intal secont câs, la difference altimetriche dal teren e compuarte che dôs derivazions di utence su la stesse condote a puedin vê valôrs di pression une vore differents, par cause dal caric idrostatic different. Chestis dôs utencis a varan doi nivei di servizi differents (pression e disponibilitât di puartade di aghe), indulà che la aziende che e gjetis la rêt e je impegnade a furnî il stes nivel di servizi a ducj i utents; duncje par chestis situazions a àn di jessi cjatadis soluzions specifichis.

In plui bisugne tignî in cont che i sistemis di distribuzion idriche a son simpri progetâts par garantî ciertis pressions standard ancje in cundizioni di pic di domande (o in câs di fûc), e duncje lis rëts a subissin une pression ecessive inte lôr vite normâl.

Il risultât al è che il cost energetic par gjetî une rêt idriche al tent a cressi cul temp, e dispès al puarte a scugnî frontâ situazions no sostignibilis. Lis aziendis di gjetion a puedin sbassâ il consum di energjie miorant la eficience des pompis, par esempli rimplaçant i motôrs des pompis che a son mancul eficientis, o instalant motôrs a velocitât variabile e doprant imprescj di control operatîf tant che sistemis SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Dut câs pompâ mancul aghe e je une maniere ancjemò plui efficace par ridusi i consums eletrics. Par ridusi lis pierditis, la gjetion des pressions e ven ricognossude come une des misuris plui eficientis e economichis a disposizion des aziendis di gjetion des rëts idrichis (Lambert 2001, Mckenzie 2002, Girard e Stewart 2007, Thornton et al. 2008). Ancje la sostituzion des infrastruturis vieris e diminuìs lis pierditis di aghe e la resistance al flus de aghe produsude de corosion e dai dipusesits minerâi su lis parêts dai tubui, ridusint la energjie doprade des pompis, ma in chest câs i investiments che a coventin a son dispès di un ordin di grandece superiôr.

Une des soluzions plui dopradis par controlâ la pression inte rêt e je la instalazion di valvulis pe riduzion di pression (VRP). Chestis a son imprescj che a mantegnin la pression dentri di cierts limits prestabilîts, cun-tune azion di feed-back pilotade de pression diferenziâl misurade prime e dopo de valvule, cu la pussibilitât di regolâ la pression in jessude de valvule a un valôr definît.

Par ristruturâ un sisteme idraulic, lis aziendis che a gjetissin la rêt idriche a scugnin cjapâ des decisions che une vore dispès a àn un fuart grât di inciertece. Lis decisions a àn di tignî cont di un grum di limita-

zions, e al pues sei pardabon dificil cjàtâ il just compromès jenfri i recuits contrastants che o vin descrit parsore.

Par judâ chei che a àn di decidi, a son une vore doprâts modei di simulazion idrauliche che a analizin il funzionament de rêt in cundizions differentis, ma la bontât di prevision di un model numeric e dipent in maniere fuarte de sô calibrazion. Il model matematic di une rêt idriche, in effets, al è une descrizion matematiche de situazion réal. I dâts che a coventin a rivuardin:

- il diametri dai tubui;
- la lungjece e la posizion dai tubui, e
- la scabrositât interne dai tubui (che e dipent de etât e dal materiâl dai tubui).

Viodût che chescj dâts (soredut l'ultin) par solit no son cognossûts cu la precision necessarie pal model, al covente un ciert numar di misuris e di lavor sul cjamp par calibrâ la descrizion matematiche dal sisteme.

In struc, la pression tes rêts idrichis e scugne sei:

- no plui basse di un valôr prestabilît in dutis lis utencis, par garantî il nivel minim di servizi di pression a ducj i utents, ma
- la plui basse pussibil par ridusi i coscj di pompe, il volum di aghe pierdût traviers des pierditis, l'aument dal numar di pierditis (che a scugnin sei comedadis), la mancjade garanzie dal servizi ai utents, e vie indenant.

Un just control de pression al pues sei otignût midiant de instalazion di valvulis di riduzion de pression, ma il numar, la posizion di instalazion e la calibrazion des valvulis a devin sei studiâts cun grande atenzion par sielzi il miôr compromès jenfri pressions masse altis o masse bassis, come che o vin dite parsore, e il cost di acuist e di instalazion des valvulis.

Dal pont di viste matematic, sedi la calibrazion sedi la gjetion optimâl de pression a puedin jessi considerâts problemis di optimizazion cun funzioni obietif e cundizions no liniârs. In chest document o considerin un algoritmi gjenetic a singul obietif, a codifice réal, par risolvi il probleme de calibrazion (Nicolini et al. 2011), là che il probleme de gjetion des pressions al ven formulât cuntun probleme di optimizazion a doi obietifs, indulà che il prin criteri al è il numar total di valvulis di riduzion de pression (che al rapresente il cost di instalazion) e il secont criteri al è representât dal total des pierditis tal sisteme.

In particolâr o vin implementât il metodi multiobietif NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, Deb et al. 2002) par optimizâ i doi criteris contraris. In plui, la particolâr codifice des variabilis reâls e permet di ciatâ sedi la ubicazion sedi la regolazion des valvulis, su la fonde di un ciert numar di cundizioni di consum prestabilidis (Nicolini e Zovatto 2009). La aplicazion dal metodi intune rêt real e à permetût un sparagn di energie e di aghe impuantant, parcè che la aghe in plui che e je deventade disponibile dopo de riduzion des pierditis e je stade mandade intune cistierne di une rêt li che la aghe e ven pompage, e in cheste maniere si è ridusût il cost di pompe.

Come che si fâs di solit tal calcul des rëts idraulichis, la rêt e je modelizade tant che un intun di ramaçs zontâts un cun chel altri midiant dai grops. La puartade prelevade des utencis e chê straçade pes pierditis a vegnин pensadis concentratidis intai grops; cheste e je une ipotesi standard, che no influïs in maniere significative su la precision dal model, ma che e semplifiche une vore il calcul.

Naturalmentri la domande di puartade te rêt, e di conseguence la distribuzion des pressions intes condotis, a mudin une vore cul lâ indenant dal temp; par solit si viodin ciclis di durade zornaliere, setemanâl e anuâl. Chestis variazions no son cognossudis e a ân di jessi misuradis in cierts ponts critics de rêt.

Un altri aspiet impuantant di tignî in cont inte fase di modelizazion dal sisteme al è il fat che i struments principâi par cognossi lis puartadis de aghe a son:

- i misuradôrs di puartade principâi intai implants di captazion; a son pôcs, duncje la calibrazion e la precision di chescj imprescj e je avonde facil di tignî sot control; a dan fûr dâts di puartade afidabii;
- i contadôrs de aghe tes utencis: a son une vore numerôs, dispès a son vecjos e la lôr precision no je facil di valutâ. Al va sotliniât che une misurazion no precise dai flus di aghe dispès e tent a fâ sorevalutâ lis pierditis: se la aghe consegnade ai utents e ven misurade cuntun contadôr vecjo, chest al puartarà a contabilizâ mancul aghe di chê che e je state pardabon doprade.

La puartade che e ven mandade in rêt e ven prelevade par resonis differentis, che in struc a puedin sei descritis cussì:

- aghe furnide a lis utencis “normâls”;

- aghe doprade par consums no misurâts (ma autorizâts), par esempi in attivitàts di manutenzion dai implants, te costruzion di gnovis rêts, li che i tubui gnûfs a vegnin lavâts cun cure prime di sei metûts in servizi;
- aghe gjavade in maniere no autorizade (robade);
- aghe lade fûr pes pierditis de rêt.

I imprescj di otimizacion doprâts par fâ lis operazions descritis par sore a son i algoritmis gjenetics (AG). I AG a son proceduris di ricercje che no doprin derivadis di funzions, ma a son basadis su lis mecanichis de selezion naturâl e de gjenetiche naturâl. A son stâts introdusûts intal 1975 di Holland, che al à spiegât i procès di adatament dai sistemis naturâi fissant i doi principis di fonde dai AG, ven a stâi la capacitât di une semplice rapresentazion, fate di une striche di bits, di codificâ struturis complicadis, e la pussibilitât, cun semplicis trasformazions, di miorâ che-stis struturis.

I AG tradizionâi a evolvin une popolazion di soluzions midiant plu-sôrs operadôrs. La codifiche e convertis i valôrs dai parametris (par es. la dimension dal diametri) intune striche di bits (0 o 1), clamade individui o cromosome. Midiant une decodifiche si pues ricostruî il valôr dai parametris iniziâi a partî de striche. Ogni individui al ven valutât daûr de sô funzion obietif, che e fâs la part dal ambient (ven a stâi, ognidun dai individuis al è caraterizât di une fitness, che e je une misure de sô corrispondence ae funzion obietif). Dopo de valutazion, a vegnin fatis lis operazions di selezion, riproduzion, crossover e mutazion. La selezion e consist inte sielte dai individuis che a formaran la gnove gjenerazion e intal lôr posizionament intun mating pool. Cheste sielte e je normalmentri fate in proporzion al valôr de fitness: plui alte e je la fitness, plui probabil al è che i individuis a vegnin sielzûts. La riproduzion al è il mecanism che al fâs in maniere che une striche e sedi copiade inte gjenerazion che i ven daûr; la striche e pues sei copiade cussì come che e je, ma e pues ancje sei modificade des operazions di crossover e/o mutazion, cun probabilitâts predefinidis. Cul crossover, doi individuis a vegnin selezionâts in maniere casuâl, e a vegnin metûts intal mating pool; po dopo e ven selezionade une posizion inte striche, seont une leç di casualitât uniforme; ae fin, intai doi individuis a vegnin scambiâts i valôrs che a vegnin dopo de posizion selezionade. La mutazion e je une alterazion casuâl di un bit intune posizion de striche; in gjeneral e à la funzion di miorâ la divier-

sitât de popolazion e e permet al procès di optimizazion di scjampâ fûr di cundizions di otim locâl. La procedure e ven iterade fin cuant che no rive al criteri di fermade, decidût prime, che al pues sei un numar massim di gjenerazions o une percentuâl di convergjence prestabilide.

Di chi indenant, l'articul al è organizât in cheste maniere: la sezion 2 e descrîf la metodologije, la sezion 3 e presente la aplicazion dal metodi intune rêt idriche réal e la sezion 4 e ripuarte lis conclusions.

2. Metodologje.

2.1. *Calibrazion dal model.* La calibrazion dal model si fonde suntun AG a codifiche réal, indulà che la funzion obietif e je definide tant che la minimizazion de sume pesade des massimis diferencis assoludis jenfri i valôrs osservâts e chei misurâts:

$$\min : f = W_b \cdot \max_{n,t} |H_n^{obs}(t) - H_n^{calc}(t)| + W_p \cdot \max_{p,t} |Q_p^{obs}(t) - Q_p^{calc}(t)|, \quad (1)$$

indulà che $H_n^{obs}(t)$ e $H_n^{calc}(t)$ a representin, rispettivementri, il caric idraulic osservât e chel calcolât al temp t intal grop n , e $Q_p^{obs}(t)$ e $Q_p^{calc}(t)$ la puartade osservade e calcolade al temp t intal tubul p . W_b e W_p a son i fatôrs di pês par caric e puartade, rispettivementri.

Il probleme di optimizazion al è sogjet a cundizions definidis des ecuazions di continuitât (\forall grop i):

$$\sum_j Q_{ij}(t) - \alpha(t) Q_{b,i} - \ell_i(t) = 0, \quad \ell_i(t) = c_i p_i(t)^\gamma \quad (2)$$

e des ecuazions de pierdite di energjie (\forall ram ij):

$$H_i(t) - H_j(t) = h_{ij}(t), \quad h_{ij}(t) = \frac{10.668 Q_{ij}(t)^{1.852} L_{ij}}{C_{ij}^{1.852} D_{ij}^{4.871}} \quad (3)$$

indulà che $Q_{ij}(t)$ al indiche la puartade dal grop i al grop j al temp t , $Q_{b,i}$ il consum (median) misurât al grop i (che al pues sei rigjavât des informazions di contabilitât), $\alpha(t)$ al è un moltiplicadôr in funzion dal temp de domande di aghe al grop, $\ell_i(t)$ la pierdite al grop i , $p_i(t)$ la pression al grop i , e c_i e γ a son doi coeficients che a cuantifichin la relazion jenfri pierdite di aghe e pression intal grop i . In particulâr, o vin ipotizât che e

sedi une uniche tipologie di pierdite, ven a stâi il stes valôr di γ par ducj i grops, e o vin esprimût il coeficient c_i tant che:

$$c_i = c \frac{Q_{b,i}}{Q_b} = \frac{Q_{b,i}}{\sum_i Q_{b,i}} \quad (4)$$

Inte (3), $H_i(t)$ e $H_j(t)$ a son i carics totâi ai grops i e j al timp t , e $b_{ij}(t)$ e je la pierdite di caric jenfri i grops i e j ; L_{ij} , D_{ij} e C_{ij} a son rispetivementri la lungjece, il diametri e il fatôr di frizion di Hazen-Williams pal tubul che al zonte i grops i e j . O vin sielzût la codifiche réal des variabilis di decision, che a rapresentin i fatôrs di frizion di Hazen-Williams intai tubui (cuatri, in chest câs) e il coeficient c (Figure 1). Lis limitazions idraulichis a son garantidis dal software EPANET 2 (Rossman 2000), cubiât cul model di otimizâ.

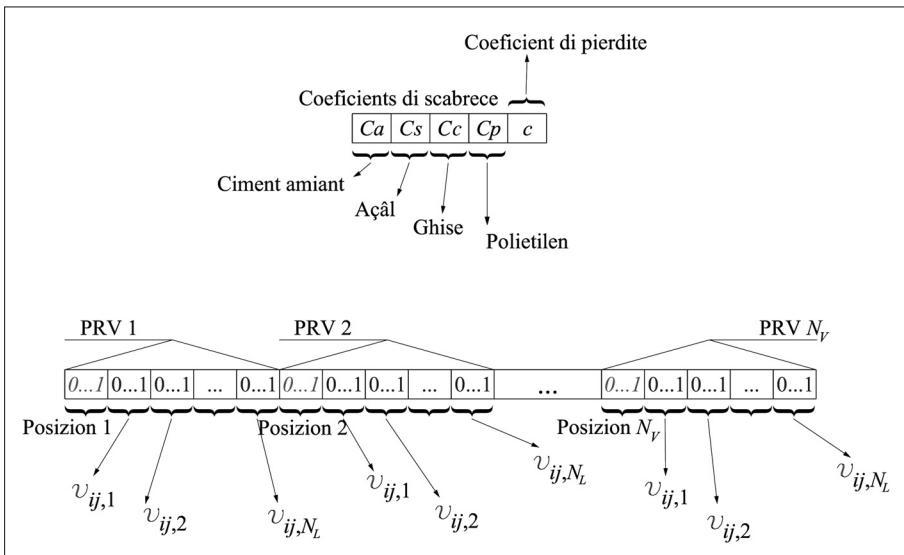


Figure 1. Codifiche des strichis intal algoritmi gjenetic implementât: codifiche réal dai coeficients di scabrece dal tubul e coeficient di pierdite doprât inte calibratzion dal model (parsoare); codifiche réal pal algoritmi NSGA-II pe gestion multi-objetif de pression (sot). La notazion 0 e pant un numar réal intal interval di 0 a 1. Il significât dai simbui al è chest:

$v_{ij,k}$ = moltiplicadôr dal diametri dal tubul, che al simule la presinse di une valvule intal ram che al zonte i grops i e j pe cundizion di caric k ;

N_L = numar di cundizions di caric, ven a stâi di domande;

N_V = numar massim di valvulis permetudis.

2.2. *Gjetion optimâl de pression.* Il probleme de gjetion optimâl de pression intun sisteme di distribuzion di aghe al ven frontât come che o vin dite cu la instalazion di valvulis di riduzion de pression. La determinazion dal numar des valvulis, de lôr posizion e regolazion e je formulade come un probleme di optimizazion a doi criteris, e e je basade sul algoritmi gjenetic multiobjetif za svilupât (Nicolini e Zovatto 2009).

Il probleme al pues sei formulât matematicamentri in cheste maniere:

$$\min : f_1 = n_v \quad (5)$$

$$\min : f_2 = \frac{1}{N_L} \sum_{k=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_S} w_k c_i p_{i,k}^\gamma \quad (6)$$

indulà che n_v al è il numar di valvulis intune soluzion gjeneriche, N_s il numar di grops intal sisteme e N_L il numar di cundizions di caric (vâl a dî, la domande di puartade te rêt), ognidune caraterizade di un pês, w_k .

Lis cundizions a son rapresentadis di trê insiemis di ecuazions: ecuazion di continuitât par ducj i grops, relazion di pierdite di caric idraulic par ducj i colegamens (tubui o valvulis) e cundizions operativis, ven a stâi: par ducj i grops la pression, par calsisedi cundizion di caric, e à di sei plui grande di un ciert valôr; e il limit dal plui alt numar di valvulis permetût, N_v . Cul stes significât dai simbui, ma cun riferiment ae cundizion di caric k invezit che al temp t , o vin:

1) Continuitât in ducj i grops (conservazion de masse), esprimude cussì:

$$\sum_j Q_{ij,k} - \alpha_k Q_{b,i} - \ell_{i,k} = 0 \quad \text{par } k = 1, \dots, N_L \quad (7)$$

indulà che la sume e cjape dentri ducj i colegamens che a rivin sul grop i . Il deponent k si riferis a la k -esime cundizion di caric (domande di puartade).

2) Pierdite di caric in ducj i colegamens (conservazion de energiie), esprimude cussì:

$$H_{i,k} - H_{j,k} = h_{ij,k} \quad (8)$$

Daûr de tipologije di colegamens, a son pussibilis diviersis espressions pe pierdite di caric idraulic $h_{ij,k}$; in particolâr, o vin doprât lis ecuazions

riputatadis chi denant par descrivi sedi i tubui sedi lis valvulis di riduzion de pression:

- Tubui (formule di Hazen-Williams in unitâts dal SI):

$$h_{ij,k} = 10.668 C_{ij}^{-1.852} d_{ij}^{-4.871} L_{ij} Q_{ij,k}^{1.852} \quad (9)$$

- Valvulis di riduzion de pression:

$$h_{ij,k} = 10.668 C_{ij}^{-1.852} (v_{ij,k} d_{ij})^{-4.871} L_{ij} Q_{ij,k}^{1.852} \quad (10)$$

indulà che $v_{ij,k}$ al è un moltiplicadôr dal diametri che al va di 0 a 1, che al simule la presince di une valvule intal colegrament jenfri i grops i e j , e al dipent de cundizion di caric k .

3) Cundizions operativis:

- Pression domandade in cualsisei grop:

$$p_{i,k} \geq p_{req,i} \quad (11)$$

- Massim numar di valvulis:

$$n_V \leq N_V \quad (12)$$

dulà che N_V al rapresente un valôr prestabilît.

3. Aplicazion intun sisteme réal. La metodologjie descrite e je stade aplicade al sisteme di distribuzion de aghe dal acuedot di Buje (Figure 2).

Il sisteme al è fat di dôs rêts, alte e basse, dividudis idraulichementri (a son presintis valvulis di colegrament, ma a son mantignudis sieradis). La rêt alte e je furnide midiant une condote principâl e une cistierne di dipuesit a gravitât, là che la rêt basse, prime de aplicazion de gestion de pression, e jere alimentade di une cistierne li che la aghe e vignive pompare. Pe morfologjie de zone, la rêt alte e jere chê cui valôrs di pression plui alts (la pression medie in rêt e jere di 7,5 bar, e in cualchi pont e rivave parsore dai 10 bar).

La rêt alte e servìs cirche 3500 abitants; e je fate di tubui di materiâi diferents: 45% des condotis e je di cement amiant, 36% di açâl, 10% di ghise e 9% di polietilen, cuntune lungjece di 35500 m.

L'obietif dal lavôr al jere chel di ridusi lis pierditis di aghe inte rêt alte midiant la gjetion des pressions, e di trasferî il soreplui di aghe ae cistierne de rêt basse, in mût di ridusi il cost di energie doprade des pompis.

Il model di simulazion al è stât calibrât considerant cinc variabilis di decision (Nicolini et al. 2011), cuatri fatôrs di frizion di Hazen-Williams e il coeficient c , introdusût in (4).

Cuant che il model al è stât calibrât, o vin aplicât l'algoritmi di optimizazion de pression cuntun numar massim di valvulis di riduzion de pression, N_V , avuâl a 10, e dôs condizioni di caric, $N_L = 2$, che a rapresentin rispettivementri la massime e la minime domande di puartade des utensis (daûr des variazions stagjonâls e zornalieris).

In prin o vevin fissât a 2 bar il nivel di pression in cualsisei grop dal sisteme, e in chest mût o vevin un soreplui di pression di 5,5 bar.

In dutis lis provis, l'algoritmi NSGA-II al à doprât une popolazion di 100 individuis, che si evolvevin par 1000 gjenerazions. La probabilitât di crossover uniform e jere avuâl a 0,8, là che la probabilitât di mutazion e jere avuâl al inviers de lungjece de stringhe (Figure 1):

$$p_m = \frac{1}{(N_L + 1)N_V} = \frac{1}{30} \quad (13)$$

indulà che p_m e je la probabilitât di mutazion al nivel dal gjen.

La aziende che e gjetis la rêt (CAFC S.p.A.) e à adotât une des soluzions otimâls a cuatri valvulis individuadis dal algoritmi, e tal temp jenfri Lui e Setembar dal 2008 a son stadis instaladis te rêt cuatri valvulis di riduzion de pression, come che si viôt te Figure 3; in particolâr, la instalazion e je stade fate su lis condotis n. 265, 410, 577, 663. Il control de cistierne intai doi agns daspò de instalazion des valvulis al à permetût di vê une stime precise dal valôr de aghe sparagnade: inte Tabele 1 si viôt ben l'efet des VRP tal ridusi la cuantitât di aghe furnide ae rêt alte. In particolâr, l'aument tal sparagn di aghe e di energie intal 2010 al è dovût ae regolazion fine dai valôrs di taradure des VRP, che a sono stadis calibrâdis par garantî une pression minime jenfri 1,5 e 1,8 bar in ciertis zonis de rêt, invezit dai 2,0 bar fissâts tal imprin.

La aghe in soreplui e je stade trasferide inte rêt basse, e in cheste ma-

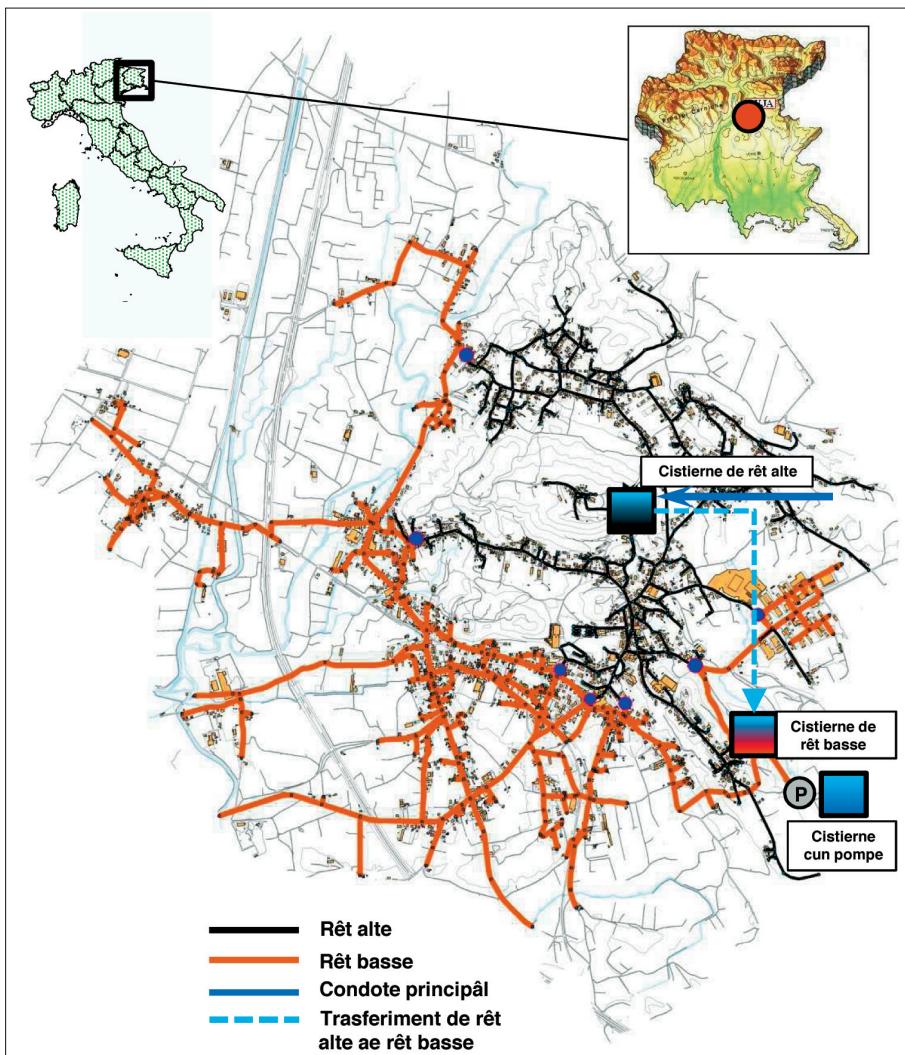


Figure 2. Schème gjenerâl de rêt di acuedot di Buje, cu la rêt alte (in neri) e chê basse (in ros).

niere si è otignût un sparagn di quasi 38% di energie intal prin an (2009) e dal 54% intal secont an (2010), par vie dal volum plui piçul di aghe pompade.

Un altri vantaç impuantant de ghestion de pression al è la riduzion dal

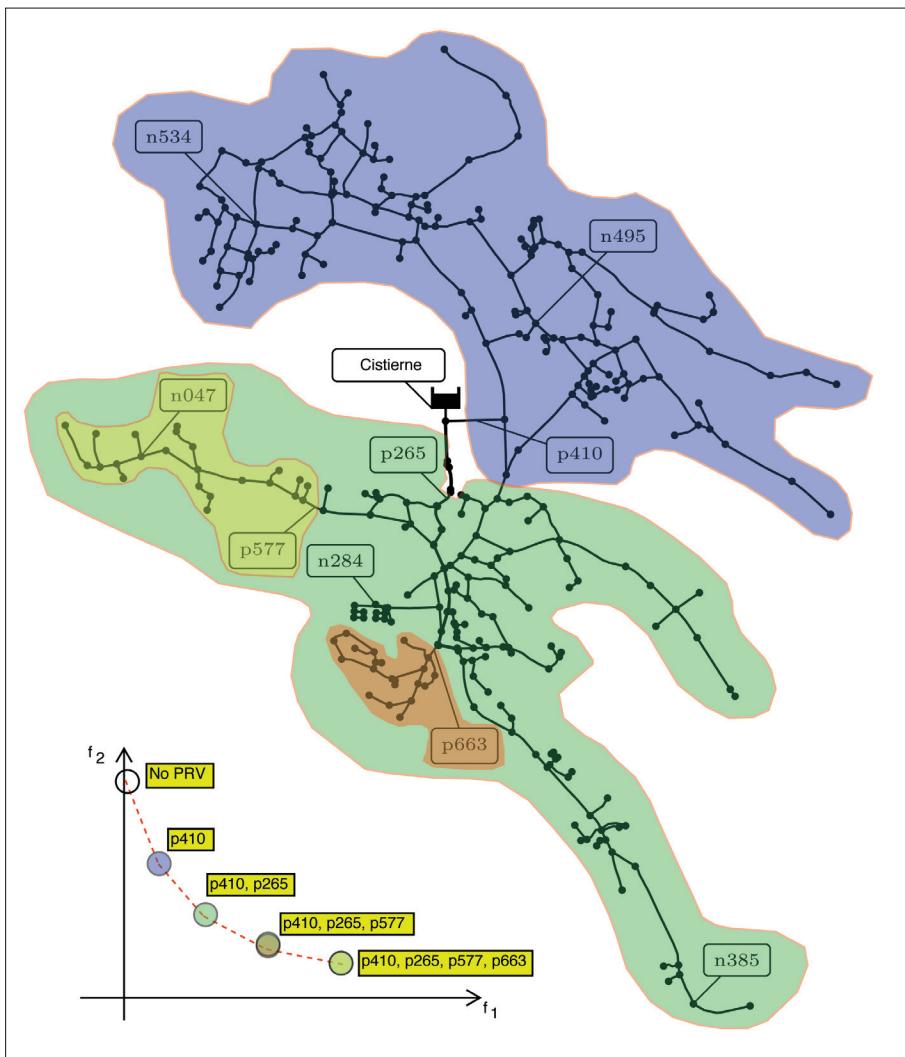


Figure 3. Model de rêt alte: ubicacion dai manometris doprâts pe calibratzion (prefis *n*), e tubui sielts par instalâ lis VRP (prefis *p*). A son ancje indicadis lis zonis sot de influence di ogni VRP. Intal cjanton in bas a çampe si viôt une representazion schematiche dal front di Pareto cu lis soluzions optimâls che a representin diviers compromès jenfri lis dôs funzions obietif.

numar di interventions di riparazion par regolâ roturis intai tubui o intai grops, come che si viôt inte Tabele 1: cheste oportunitât e permet ae aziende di gjetî la rêt intun mût plui eficient, sparagnant une vore di interuzions dal servizi che a puartin i utents a lamentâsi.

Tabele 1. Aghe furnide ae rêt alte, energie di pompe inte rêt basse e numar di riparazions su condotis o grops inte rêt alte.

An	2008	2009	2010
Puartade mediane furnide (L/s)	18,93	13,99	10,47
Volum furnît ($m^3 \cdot 10^3$)	597,13	441,18	330,18
Energjie doprade tes pompis (MWh)	130,34	82,71	60,91
Riparazions su la rêt alte	95	67	45

4. Conclusion. In chest articul si sin concentrâts su la gestion otimâl des pressions intes rêts di distribuzion de aghe, che cumò e je ricognossude come une des plui eficientis e plui economichis manieris par ridusi lis pierditis efetivis e i coscj di gestion. O vin presentât une metodologje basade sui algoritmis gjenetics, in particolâr doprant un AG a singul obietîf par calibrâ il model, e l'algoritmi NSGA-II par risolvi il probleme a plui obietîfs caraterizât di chescj doi criteris contraris: la minimizazion dal numar des VRP e la minimizazion de cuantitât totâl di aghe pierdude inte rêt. I vantaçs principâi de procedure a son, di une bande, la pussibilitât di basâsi suntun model calibrât (fondamentâl par valutâ preventivementri i efiets di calsisei operazion sul sisteme) e, di chê altre bande, la individuazion des soluzions otimâls tal sens di Pareto che a rapresentin diferents nivei di compromès jenfri coscj e riduzion des pierditis. Une aplicazion intun sisteme réal e à dimostrât la bontât di cheste metodiche, come che al è stât dimostrât dai sparagns di aghe e di energjie che, adun cu la riduzion dai coscj di intervents di riparazion di roturis intai tubui o intai grops, e permet une gestion plui eficiente e sostignibile dal sisteme.