

La gjestion otimâl de pression intes rêts di acuedot: aument de eficiencie 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 cuantitât di aghe straçade pes pierditis e il numar di riparazions che bisugne fâ sui tubui. Dopo di une piçule introduzion descrittive dal probleme e des cundizions al contor, o presentin une metodologjie basade su algoritmis gjenetics (AG) a obietîf singul e multipli che, partint dal model numeric de rêt, e fâs la calibrazion dal model e daspò e cîr 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 reâl a obietîf singul, par otignî di une bande i valôrs dai coeficients di scabrece dai tubui e di chê altre une valutazion de ripartizion de puartade alimentade inte rêt jenfri aghe distribuide pardabon a lis utencis e aghe dissipade traviere des pierditis de rêt. L'algoritmi multi-obietîf NSGA-II al è stât implementât par cirî lis soluzions otimâls tal sens di Pareto, che a rapresentin plusôrs nivei di compromès jenfri cost di instalazion des VRP e riduzion des pierditis. La aplicazion de metodologjie a une rêt idriche reâl e à permetût sparagns significatîfs 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 mancûl di mieç pe riduzion dal regjim des pressions, 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 energjie, la diminuzion de disponibilitât di aghe e la dibisugne di otignî prestazions otimâls a son un pocj 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 ativitâts par otimizâ i investments. Par cheste reson il control de pression, tant che mieç par ridusi lis pierditis tes rêts di distribuzion de aghe, al è diventât une des prioritâts pes aziendis di gjestion 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 rispjet 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 timp) e a pue din subî une cuantitât insopuartabile 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 incesso 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 incesso inte domande di aghe e fâs in mût che i tubui che a constituissin la rêt a diventin inadeguâts masse adure: stant che i diametris dai tubui a vegnin dimensionâts sore une ipotesis di puartade di aghe, la incesso de domande e fâs diventâ inadeguade cualchi part de rêt, parcè che la puartade domandade e je diventade plui grande di chê di projet. Par furnî cheste puartade, la aghe e scugne vê une elevate velocitât intai tubui, e chest al compuarte fuartis pierditis di caric idraulic, e duncje di pression, par efiet dal atrêt.

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 diferents, par cause dal caric idrostatic diferent. Chestis dôs utencis a varan doi nivei di servizi diferents (pression e disponibilitât di puartade di aghe), indulà che la aziende che e gjestis 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 progjetâts par garantî ciertis pressions standard ancje in cundizions di pic di domande (o in câs di fûc), e duncje lis rêts a subissin une pression eccessive inte lôr vite normâl.

Il risultât al è che il cost energjetic par gjestî une rêt idriche al tent a cressi cul timp, e dispès al puarte a scugnî frontâ situazions no sostignibilis. Lis aziendis di gjection a puedin sbassâ il consum di energjie miorant la eficiencie des pompis, par esempi rimplaçant i motôrs des pompis che a son mancûl 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 mancûl aghe e je une maniere ancjemò plui efficace par ridusi i consums eletrics. Par ridusi lis pierditis, la gjection des pressions e ven ricognossude come une des misuris plui eficientis e economichis a disposizion des aziendis di gjection des rêts idrichis (Lambert 2001, McKenzie 2002, Girard e Stewart 2007, Thornton et al. 2008). Ancje la sostituzion des infrastruturis vieris e diminuîs lis pierditis di aghe e la resistance al flus de aghe produsude de corosion e dai dipuesits minerai su lis parêts dai tubui, ridusint la energjie doprade des pompis, ma in chest câs i investimenti 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 ristrutturâ un sisteme idraulic, lis aziendis che a gjestissin la rêt idriche a scugin 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 difìcil cjàtâ il just compromès jenfri i recuissîts contrastants che o vin descrit parsore.

Par judâ chei che a àn di decidì, a son une vore doprâts modei di simulazion idrauliche che a analizin il funzionament de rêt in cundizions diferentis, 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 efïets, al è une descrizion matematiche de situazion reâl. 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 età 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 lavôr 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 travers des pierditis, l'aument dal numar di pierditis (che a scugin 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 acust e di instalazion des valvulis.

Dal pont di viste matematic, sedi la calibrazion sedi la gjestion otimâl de pression a puedin jessi considerâts problemis di otimizazion cun funzions obietîf e cundizions no liniârs. In chest document o considerin un algoritmi gjenetic a singul obietîf, a codifiche reâl, par risolti il probleme de calibrazion (Nicolini et al. 2011), là che il probleme de gjestion des pressions al ven formulât cuntun probleme di otimizazion a doi obietîfs, indulà che il prin criteri al è il numar totâl di valvulis di riduzion de pression (che al rapresente il cost di instalazion) e il secont criteri al è rapresentât dal totâl des pierditis tal sisteme.

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

Come che si fâs di solit tal calcul des rêts 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 vegnin pensadis concentradis intai grops; cheste e je une ipotesis standard, che no influís in maniere significative su la precision dal model, ma che e semplifichis une vore il calcul.

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

Un altri aspjet impuartant 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 mancual aghe di chê che e je state pardabon doprade.

La puartade che e ven mandade in rêt e ven prelevade par resons diferentis, 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 ativitâts 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 otimizazion doprâts par fâ lis operations 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 adatement dai sistemis naturâi fissant i doi principis di fonde dai AG, ven a stâi la capacitât di une semplice rappresentazion, fate di une striche di bits, di codificâ struturis complicadis, e la pussibilitât, cun semplicis trasformazions, di miorâ chestis 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 obietîf, 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 obietîf). Dopo de valutazion, a vegnin fatis lis operations 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 mecanisim 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 anje sei modificate des operations 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 gjenerâl e à la funzion di miorâ la divier-

sitàt de popolazion e e permet al procès di otimizazion 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 metodologjie, la sezion 3 e presente la aplicazion dal metodi intune rêt idriche reâl e la sezion 4 e ripuarte lis conclusions.

2. Metodologjie.

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

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

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

Il probleme di otimizazion 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 timp 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 multiplicadôr in funzion dal timp 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 particolâr, o vin ipotizât che e

sedi une uniche tipologie di perdite, ven a stâi il stes valôr di γ par ducj i grops, e o vin esprimût il coefficient 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 $h_{ij}(t)$ e je la perdite di caric jenfri i grops i e j ; L_{ij} , D_{ij} e C_{ij} a son rispetivem-
entri la lungjece, il diametri e il fatôr di frizion di Hazen-Williams pal tu-
bul che al zonte i grops i e j . O vin sienzût la codifiche reâl des variabilis
di decision, che a rapresentin i fatôrs di frizion di Hazen-Williams intai
tubui (cuatri, in chest câs) e il coefficient c (Figure 1). Lis limitazions
idraulichis a son garantidis dal software EPANET 2 (Rossman 2000), cu-
biât cul model di otimizâ.

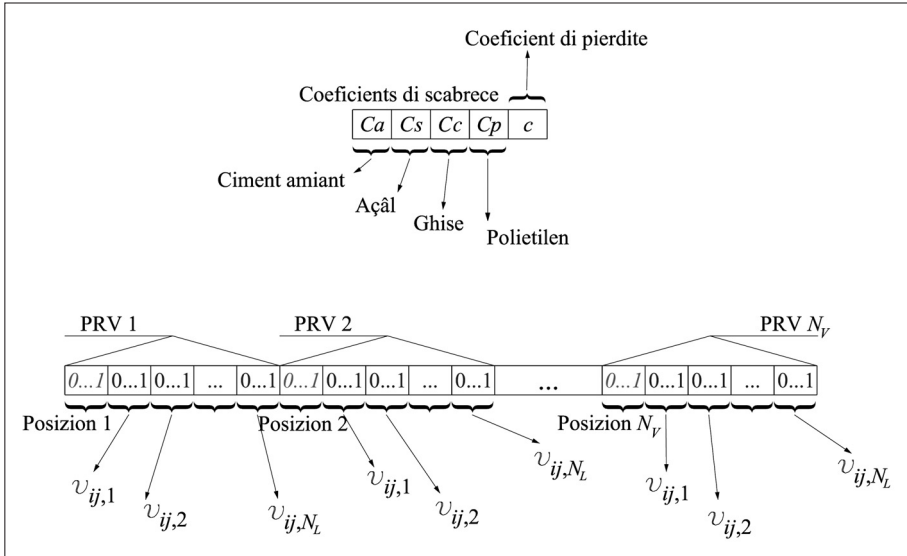


Figure 1. Codifiche des strichis intal algoritmi gjenetic implementât: codifiche reâl dai coefficients di scabrezza dal tubul e coefficient di perdite doprât inte calibrazion dal model (parsore); codifiche reâl pal algoritmi NSGA-II pe gjestion multi-obietif de pression (sot). La notazion 0 e pant un numar reâl intal interval di 0 a 1. Il significât dai simbui al è chest:

$v_{ij,k}$ = multiplicadôr dal diametri dal tubul, che al simule la presenche 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. *Gjeestion otimâl de pression.* Il probleme de gjeestion otimâl 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 otimizazion a doi criteris, e e je basade sul algoritmi gjenetic multiobietîf za svilupât (Nicolini e Zovatto 2009).

Il probleme al pues sei formulât matematichementri in cheste maniere:

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

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

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 colegaments (tubui o valvulis) e cundizions operativis, ven a stâi: par ducj i grops la pression, par cualsisedi 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 invece che al timp 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 colegaments 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 colegaments (conservazion de energjie), esprimude cussì:

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

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

ripartadisi 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 colegament jenfri i grops i e j , e al dipent de cundizion di caric k .

3) Cundizions operativis:

- Pression domandade in cualsei 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 reâl. 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 colegament, ma a son mantignudis sieradis). La rêta alte e je furnide midiant une condote principâl e une cistierne di dipuesit a gravitât, là che la rêta basse, prime de aplicazion de gjestion de pression, e jere alimentade di une cistierne li che la aghe e vignive pompade. Pe morfologjie de zone, la rêta alte e jere chês cui valôrs di pression plui alts (la pression medie in rêta e jere di 7,5 bar, e in cualchi pont e rivave parsore dai 10 bar).

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

L'obietîf dal lavôr al jere chel di ridusi lis pierditis di aghe inte rêt alte midiant la gjeestion des pressions, e di trasferî il soreplui di aghe ae cistierne de rêt basse, in mût di ridusi il cost di energjie 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 otimizazion de pression cuntun numar massim di valvulis di riduzion de pression, N_v , avuâl a 10, e dôs cundizions di caric, $N_L = 2$, che a rapresentin rispetivementri la massime e la minime domande di puartade des utencis (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 ghen.

La aziende che e gjestis la rêt (CAFC S.p.A.) e à adotât une des soluzions otimâls a cuatri valvulis individuadis dal algoritmi, e tal timp 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'efiet des VRP tal ridusi la cuantitât di aghe furnide ae rêt alte. In particolâr, l'aument tal sparagn di aghe e di energjie intal 2010 al è dovût ae regolazion fine dai valôrs di taradure des VRP, che a sono stadis calibra-dis 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-

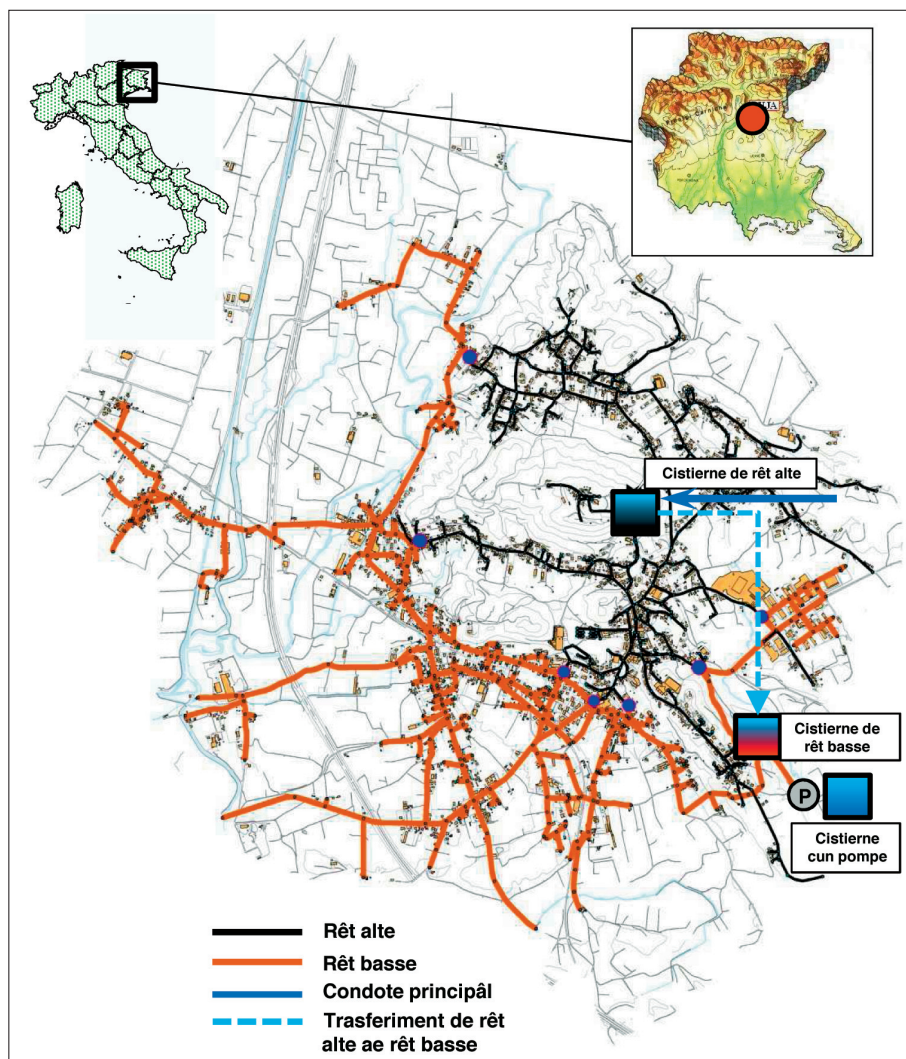


Figure 2. Scheme gjenerâl de rêt di acuedot di Buje, cu la rêt alte (in neri) e chê basse (in ros).

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

Un altri vantaç impuartant de gjestion de pression al è la riduzion dal

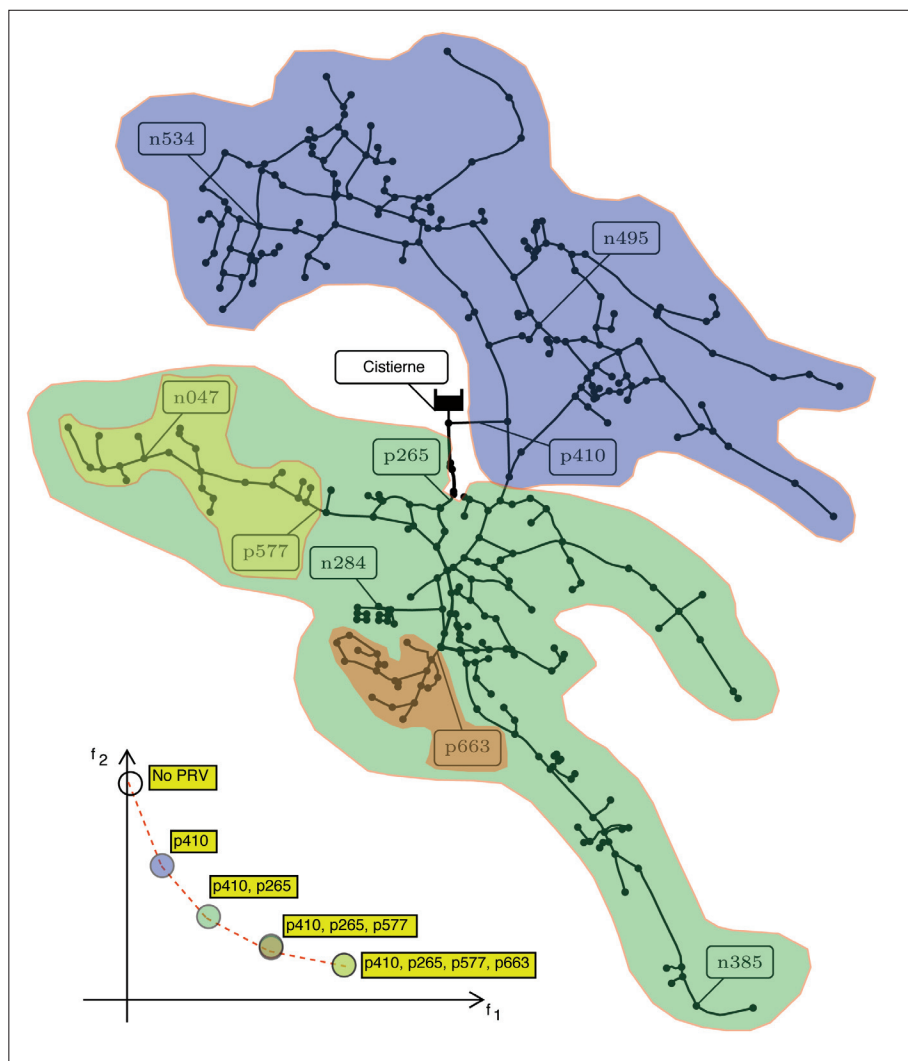


Figure 3. Model de rêt alte: ubicazion dai manometris doprâts pe calibrizion (prefis n), e tubui sielts par instalâ lis VRP (prefis p). A son ançe indicadis lis zonis sot de influence di ogni VRP. Intal cjanton in bas a çampe si viôt une raprezentazion schematiche dal front di Pareto cu lis soluzions otimâls che a rapresentin diviers compromès jenfri lis dôs funzions obietîf.

numar di intervients di riparazion par regolâ roturis intai tubui o intai grops, come che si viôt inte Tabele 1: cheste oportunitât e permet ae aziende di gjeştî 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 rêl alte, energjie di pompe inte rêl basse e numar di riparazions su condotis o grops inte rêl alte.

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

4. Conclusion. In chest articul si sin concentrâts su la gjestion otimâl des pressions intes rêts di distribuzion de aghe, che cumò e je ricognossude come une des plui efficientis e plui economichis manieris par ridusi lis pierditis efetivis e i coscj di gjestion. O vin presentât une metodologjie 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 rêl. I vantaçs principâi de procedure a son, di une bande, la pussibilitât di basâsi suntun model calibrât (fondamentâl par valutâ preventivementri i efjets di cualsei operazion sul sisteme) e, di chê altre bande, la individuazion des soluzions otimâls tal sens di Pareto che a rappresentin diferents nivei di compromès jenfri coscj e riduzion des pierditis. Une aplicazion intun sisteme reâl 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 interventi di riparazion di roturis intai tubui o intai grops, e permet une gjestion plui eficiente e sostignibile dal sisteme.