Gjornâl Furlan des Siencis **14.** 2010, 127-138

La societât de informazion: cirint lis origjins*

VALENTINO CASTELLANI**

Ristret. Chest lavôr si propon di presentâ intune forme acessibile ancje ai no specialiscj i fondaments teorics de teorie de informazion che e je ae base des rêts di telecomunicazion. Si fâs riferiment in particolâr ae complessitât des rêts che ogni dì ancje nô si coleghìn cuant che cul nestri computer o cun altris imprescj (iPod, iPad) si tachìn al Web, la tele di ragn che aromai e involuce la tiere e nus permet di comunicâ a nivel planetari.
A vegnin individuadis lis tapis origjinâls di chest senari: la formulazion de teorie matematiche de informazion di bande di Shannon e la scuvierte dal transistor fate di Bardeen, Brattain e Shockley.
Al ven presentât in curt il contignût essenziâl de teorie di Shannon: la intuizion fondamentâl de nature discrete de informazion, la sô misure, la nature dai canâi di trasmission e des tecnichis di protezion de informazion trasmetude. Infin, al ven presentât e discutût il risultât plui impuartant de teorie, il teoreme de codificazion dal canâl. Chest teoreme, dongje des risorsis za cognossudis dai inzegnîrs che si ocupavin di trasmeti la informazion – vâl a dî la potence dal trasmetidôr e la bande di frecuence dal canâl trasmissîf – al individue te complessitât de elaborazion dal segnâl une gnove risorse che e pues garantî la afidabillitât dal procès. Elaborazions simpri plui complessis dal segnâl di trasmeti a son deventadis pussibilis cui svilups de microeletroniche. Chescj svilups a àn permetût di doprâ te maniere miôr lis prospetivis viertis de teorie.
E nas cussì la ete de societât de informazion e di cheste a son descritis in struc lis principâls tindincis tecnologjichis.
Il lavôr al è sierât di une serie di considerazions critichis su la distinzion jenfri informazion e cognossince e su la necessitât strategjiche di formâ te maniere plui juste lis gnovis gjenerazions.

Peraulis clâf. Teorie de informazion, cognossince, canâi di trasmission.

---

* Prolusion gjenerâl presentade al Congrès Anuâl 2010 de Societât Sientifiche e Tecnologjiche Furlane, Sant Vît dal Tiliment, 30 di Otubar dal 2010.

** Corso Chieri 178/14, 10132 Turin, Italie.
E-mail: valentino.castellani@arpnet.it

Un *World Wide Web*, une tele di ragn globâl e involuce la tiere, cuasi che e fos la infrastruture fisiche di chê Noosfere che Pierre Teilhard de Chardin al à intraviodût tant che svilup evolutîf de vite tal nestri planet.

Internet al è daûr a fâ trentedoi agns se si cjape come date di nassite la tecnologjie che e à permetût la interconession fra lis rêts informatichis a nivel mondiâl. Il Web, vâl a dî la tecnologjie che e à permetût di ingrumâ un patrimoni cussì grant di documents di ogni sorte che internet i permet l'acès, al è plui zovin di sù par jù un deceni e al è stât donât a ducj, ancje ae industrie privade, di un ent di ricercje public, il CERN di Gjinevre, che al veve disvilupât e colaudât chê tecnologjie. Lis stimis a calcolin che i documents presints tal Web a sedin cressûts dai pôcs milions dai prin agns '90 ai centenârs di miliarts de zornade di vuê.

Vuê la forme plui comune di comunicazion e consist in personis furnidis di terminâi simpri plui diviers e complès (PC, telefon fis o mobil, iPod, iPad, televisôr…) che a comunichin cun altris terminâi o cun grancj elaboradôrs midiant de conession in rêts locâls (LAN) o rêts gjeografichis (WAN). Il scambi di informazion su chestis rêts al è regolât di une architeture stratificade, tant inmagante che complesse, di protocoi che a controlin i flus, i instradaments e i acès.

Il supuart de informazion, la "materie prime" che e ven instradade su chestis rêts, a son miliarts e miliarts di simbui binaris ("zeros" e "uns"). Ogni sorzint di informazion e introdûs tal mâr de rêt la sô cuantitât, lis sôs secuencis di simbui, e chescj a àn di rivâ fintremai al utent di un cualsisei pont dal planet (o ancje tal spazi cosmic che l'om al à concuistât) e a àn di rivâ in buine salût, vâl a dî cence erôrs (i "zeros" a àn di tornâ tant che "zeros" e i "uns" tant che "uns").

In cheste mê presentazion o intint lâ aes origjinis di chest senari e individuâ i supuescj sientifics e tecnologjics che lu àn fat deventâ pussibil cuntune dinamiche evolutive cussì impetuose di no crodi.

La evoluzion de sience e de tecnologjie e va indevant in maniere normâl e graduâl e ogni ricercjadôr o tecnolic al fâs tesaur des cognossincis ingrumadis prin, fin che, di cuant in cuant, si cree une "roture" cul passât; si definìs cussì un inizi gnûf che nol ven simpri ricognossût daurman pe buine reson che al coventarès che si podessin viodi i disvilups par ricognossindi la nassite. Si torne duncje indaûr tal timp e si cîr di individuâ chest moment magjic.

Par gno cont a son doi i moments magjics che a àn caraterizât il principi de nestre storie, ducj i doi sucedûts tal bieni 1947-48. Il prin al fâs riferiment a Shannon, che al à butât lis fondis de *Teorie de Informazion* (Shannon 1948), e il secont al è la scuvierte dal transistor sucedude tai laboratoris de Bell tal 1947 in gracie di Bardeen, Brattain e Shockley, che par chest a àn vût il Nobel pe fisiche tal 1956. Daûr de lôr scuvierte e je tacade la ere de microeletroniche.

O passarìn cualchi concet fondamentâl de teorie di Shannon par viodi cemût che chescj a àn cjatât disvilup e aplicazion plens lant a bracet cu lis tecnologjiis de microeletroniche e fasint sù man a man il senari dulà che vuê, in maniere plui o mancul consapevule, o lavorìn cuant che ancje nô o jentrìn tal Web.

La prime assunzion fondamentâl di Shannon e je che ogni sorzint di informazion e je une sorzint *discrete*, vâl a dî une sorzint che si pues rapresentâ cuntun alfabet fat di un numar finît di simbui.

Al è evident che a esistin sorzints che a son *discretis* par nature lôr, come par esempli i segnâi produsûts des tastieris dai nestris terminâi. No si mostrin cussì ae prime cjalade i segnâi eletrics risultants dai trasdutôrs che ju produsin, come par esempli il segnâl telefonic che al rapresente la vôs dal utent o il segnâl video te jessude di une telecjamare. A somein come funzions seguitivis dal timp e a cuvierzin une dinamiche continue di amplecis pussibilis. Dut câs ancje chescj segnâi a puedin jessi rapresentâts tant che une sorzint *discrete*, vâl a dî un dispositîf che al produs informazion a mieç di secuencis di simbui sielzûts di un alfabet finît. Viodìn cuâi che a son i supuescj.

Ogni segnâl fisic al à une bande di frecuence limitade e duncje al pues jessi rapresentât in maniere perfete ancje dome cuntune sucession di campions gjavâts fûr a intervai di timp compagns (teoreme dal campionament). Il segnâl telefonic, par esempli, al à une bande convenzionâl di 4 KHz e duncje a son suficients 8.000 campions al secont par rapresentâlu in maniere fedêl (Figure 1).

Se dopo o volessin aumentâ la fedeltât di un segnâl acustic, o varessin di tignî cont che la nestre orele no percepìs suns parsore i 15 KHz e duncje al sarès inutil prelevâ plui di 30.000 campions al secont di un segnâl se il so scoltadôr finâl e ves di sei la orele umane.

Chest fenomen al è ben cognossût ancje dai fruts cuant che a scuvier-

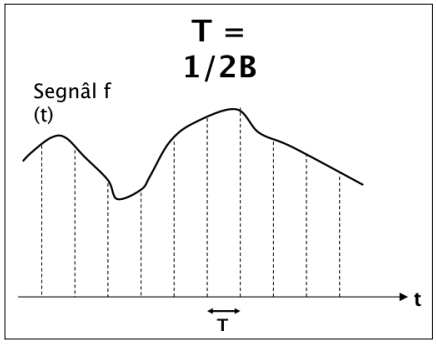

Figure 1. Teoreme dal campionament di un segnâl a bande limitade B (Nyquist 1928).

zin che si pues simulâ il moviment fasint scori jenfri i dêts un pacut di imagjinis fissis, pôc diviersis une di chê altre. Al è il "zûc" dal cine. Di fat il nestri voli nol è in stât di percepî come separadis tal timp imagjinis che a corin une daûr di chê altre a velocitât une vore alte (al è un filtri *passe-bas*) e in fats i cuadris de television a cambiin cuntune frecuence di 25 par secont. Il moviment al ven ricostruît cuntune secuence di imagjinis fissis, di "campions" dal moviment.

Cumò o vin un campion dal segnâl che al pues cuvierzi cun continuitât un interval di amplecis. Ancje in chest câs o fasìn une aprossimazion. O dividìn l'interval in N parts compagnis e ur din un numar di 0 a (N-1). Il campion dal segnâl al cole intun di chescj intervai e nô o podìn sostituîlu cul numar dal interval. O vin trasformât il segnâl intune secuence di numars (*digits*, par inglês, e di alì *digital transmission*). Tant plui alt al è il numar dai intervai, tant miôr e sarà la aprossimazion.

Ancje in chest câs il criteri di cuantizazion al larà daûr des esigjencis dal utent. Par esempli, tal câs dal segnâl telefonic 256 intervai di cuantizazion a garantissin une otime cualitât te riproduzion dal segnâl.

Il prin pas impuartant fat di Shannon al è stât chel di definî in maniere matematiche la *misure de informazion*. La definizion e je la consecuence di doi assiomis di bon sens assolût. Il prin al è che un event mancul probabil che al è, tante plui informazion che al da; il secont, che doi events indipendents a dan cuantitâts di informazion che si somin. Se x_i al è il simbul gjenerât de sorzint discrete, alore la cuantitât di informazion associade a chest simbul e vâl:

$$I(x_i) = -\log_2 p_i . \tag{1}$$

Par esempli, se il simbul x_i al à probabilitât $p_i = 1/2$, alore

$$I(x_i) = -\log_2 \frac{1}{2} = 1 , \tag{2}$$

vâl a dî che la misure e corispuint a 1 *bit di informazion*.

Il *bit* e je la unitât par misurâ la informazion e al corispuint ae informazion produsude cuant che si verifiche un dai doi events ecuiprobabii.

Une sorzint e je caraterizade de cuantitât medie di informazion produsude par ogni simbul, vâl a dî de cuantitât

$$H(X) = \sum_i p_i I(x_i) = -\sum_i p_i \log_2 p_i \,. \qquad (3)$$

Cheste medie Shannon le à clamade *entropie de sorzint*. Tal câs de sorzint binarie si viôt che la entropie e vâl al plui 1 bit cuant che i simbui a son ecuiprobabii e tal câs contrari si dîs che la sorzint e je ridondant, vâl a dî che ogni simbul binari prodot al furnìs mancul informazions di ce che al podarès (Figure 2).

Une osservazion impuartante di fâ daurman e je che la ridondance no je inutile. E jude l'utent a contrastâ la pierdite di informazion che si varà sul canâl di trasmission. Par esempli, ogni lengaç al è ridondant, ma chest al jude a capî un discors intun ambient une vore rumorôs, li che si fâs une vore di fadie a capî se cui che al fevele lu fâs par esempli intune lenghe foreste.

Fasìn cumò un pas indevant e analizìn il probleme de trasmission de informazion a un utent lontan. I bits produsûts de sorzint a vegnin "consegnâts" in blocs di k a segnâi eletrics che a son produsûts di un modulatôr, trasmetûts sul canâl fisic di comunicazion e tornâts indaûr al utent dal demodulatôr che al fâs la operazion contrarie fate dal modulatôr (la cubie e je il modem). Il canâl di trasmission al degrade i segnâi trasmetûts par efiet dai disturps, des distorsions, des interferencis. O clamìn rumôr, par semplificazion estreme, l'insieme di chescj fenomens. Il risultât al sarà che de bande dal utent no ducj i k-bits trasmetûts a vignaran ricevûts in maniere corete e che il sisteme al presente une probabilitât di erôr. Lis risorsis a disposizion dai in-

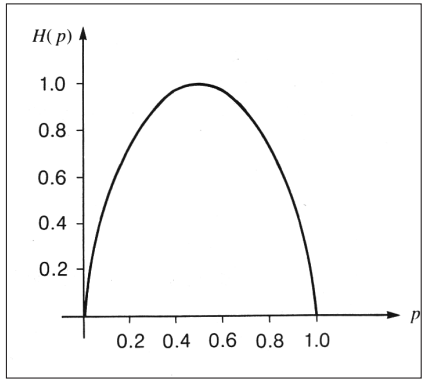

Figure 2. Entropie $H(X)$ di une sorzint binarie cun simbui di probabilitât p e $(1–p)$. Il massim si à par p=1/2.

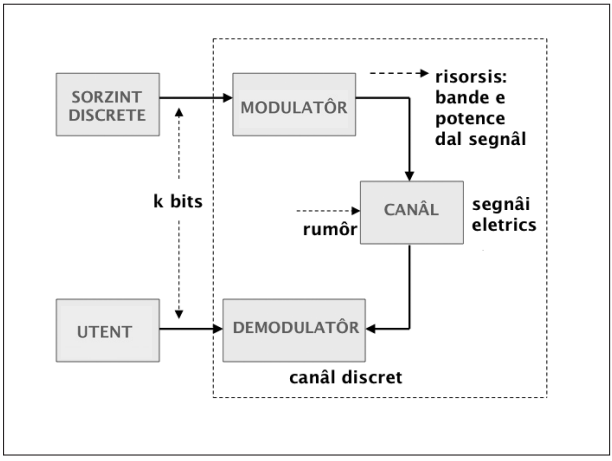

Figure 3.

zegnîrs par trasmeti sul canâl a son simpri stadis la bande di frecuence dai segnâi e la potence eletriche dai segnâi trasmetûts. Viodarìn plui indevant che juste su chest pont Shannon al à dât il so contribût fondamentâl di inovazion (Figure 3).

Il canâl di trasmission al pues jessi rapresentât cuntun model une vore sempliç e nol è dificil calcolâ la cuantitât medie di informazion che e jes dal canâl. Se i simbui de sorzint a son ecuiprobabii e il canâl nol fale o vin claramentri 1 bit par ogni simbul ricevût (Figure 4).

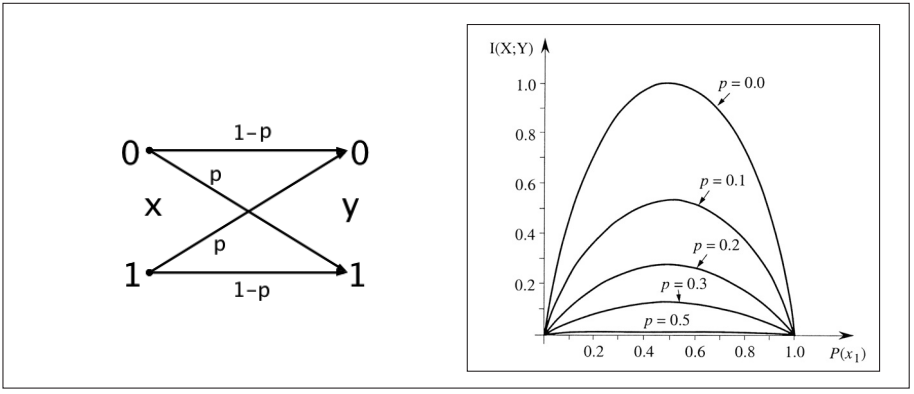

Figure 4. Il canâl binari simetric. Cuantitât di informazion che e transite tal canâl cul mudâ de probabilitât di erôr.

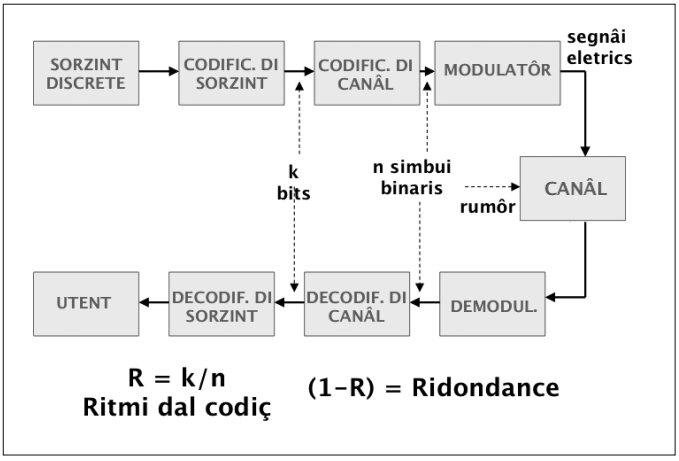

Figure 5. Scheme gjenerâl de trasmission dal segnâl.

Si tegni presint che e baste une probabilitât di erôr dal 10% par pierdi la metât de informazion. Di fat, al è vêr che nô o savìn che il 10% dai simbui a son sbaliâts, dut câs no savìn cuâi che a son se o volessin coreziju. Shannon al à definît la *capacitât dal canâl* come massim de informazion che o rivìn a ricevi, di un valôr de probabilitât di erôr *p*.

Tornìn cumò al nestri scheme gjenerâl e viodìn di completâlu (Figure 5).

O vin dite che lis sorzints a son par solit ridondantis. Il probleme al è che la lôr ridondance e je fûr dal nestri control parcè che no 'ndi cognossìn ben la struture matematiche. Al conven alore eliminâle cul *codificatôr di sorzint*. Il so compit al è chel di sostituî, midiant di algoritmis juscj, la secuence di simbui binaris no ecuiprobabii de sorzint cuntune altre secuence li che i simbui a sedin il plui ecuiprobabii (tal câs ideâl lu saran dal sigûr). Al sarà compit dal *decodificatôr di sorzint*, al terminâl de ricezion, di ricostruî la secuence origjinarie parcè che naturalmentri al cognòs l'algoritmi di codifiche. In cheste maniere però la secuence dai *k* simbui di informazion di trasmeti e je une vore vulnerabil par vie dai erôrs dal canâl; ma nô o sostituìn la secuence di *k* simbui cuntune plui lungje, di *n* simbui binaris (o vin zontât une ridondance di 1-*k*/*n*), doprant il *codificatôr di canâl*.

Cheste ridondance le podìn zontâ cun sofisticâts algoritmis matematics che de bande dal decodificatôr di canâl nus permetaran di *individuâ*

eventuâi erôrs e ancje di *coreziju*. Tant plui grant al è n rispiet a k tant plui nô o sarìn in grât di rivelâ e di corezi i erôrs e di restituî une secuence esate di k simbui al decodificatôr di sorzint. O lassi ae vuestre imagjinazion di intuî cetante matematiche sofisticade che e je stade inglobade dentri i codificatôrs modernis di sorzint e di canâl.

O zonti ancje une altre considerazion une vore impuartante che e rivuarde la *segretece* dai k bit di informazion che si vuelin trasmeti sul canâl. In cetantis aplicazions (pensìn aes transazions finanziariis) l'utent al vûl evitâ che un intrûs al puedi acedi ai siei dâts e duncje robâ il contignût des informazions associât.

Disponint de informazion rapresentade di une secuence di numars binaris, si puedin fâ su chescj numars des operazions matematichis sofisticadis che ju trasformin intune secuence che e somee casuâl e partant in aparence cence nissun contignût informatîf.

Il codificatôr di sorzint al pues inglobâ ancje un algoritmi che al permet di *criptografâ* la informazion par rindile acessibil dome al utent designât, parcè che dome lui al cognòs l'algoritmi, vâl a dî la *clâf*, par interpretâle.

La matematiche de criptografie si fonde sui numars prins e e je un esempli une vore sugjestîf di cemût che cjapitui di matematiche teoriche in aparence cence nissune aplicazion pratiche a puedin deventâ a un ciert pont di grant interès aplicatîf. Al è ancje just ricuardâ il contribût fondamentâl dât di Shannon ae criptografie (Shannon 1949).

In cheste maniere o sin pronts a descrivi un dai risultâts plui impuartants de teorie di Shannon: il *teoreme de codificazion dal canâl*. Il teoreme al aferme che la probabilitât di erôr dal sisteme e diminuìs in maniere esponenziâl pal efiet di doi fatôrs: la lungjece dal codiç di canâl n e une funzion $E(R)$ che il so andament tipic si viôt te Figure 6, chest te ipotesi che il ritmi di trasmission k/n al sedi inferiôr ae capacitât dal canâl.

Chest risultât elegant al è chel che al à permetût ae teorie des telecomunicazions di cjatâsi insieme cul svilup de microeletroniche par determinâ i senaris che o vin riferît in vierzidure. Viodìn cemût e parcè.

Par miorâ lis prestazions dal sisteme (vâl a dî par diminuî la probabilitât di erôr) o podìn prin di dut cirî di aumentâ $E(R)$, e chest si pues fâ in dôs manieris.

Prime pussibilitât. Doprìn un ritmi di trasmission R_2 minôr di R_1 e, dal moment che k al è ciert, chest al vûl dî aumentâ n, vâl a dî doprâ il

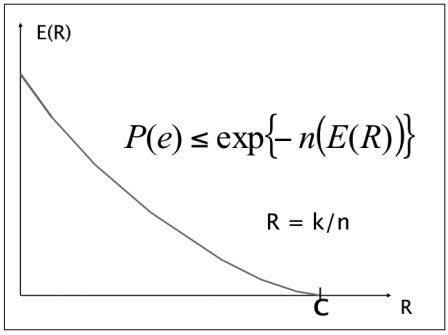

Figure 6. Teoreme de codificazion di canâl (Shannon 1948).

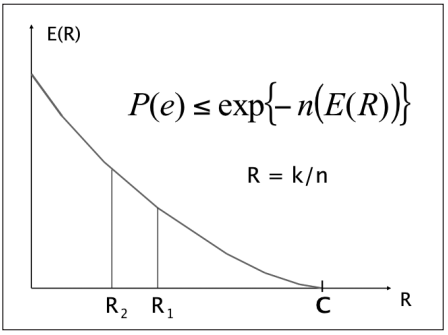

Figure 7. Prime pussibilitât: o incrès il ritmi dal canâl (la bande).

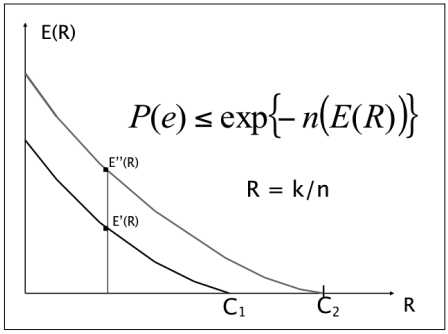

Figure 8: Seconde pussibilitât: o incrès la capacitât dal canâl (la potence di trasmission).

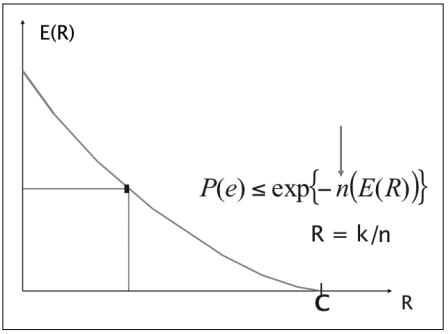

Figure 9. Tierce pussibilitât: cun bande (*R*) e potence (*C*) costantis o incrès *n* vâl a dî la complessitât dai terminâi.

canâl cuntune frecuence plui grande. *O sin daûr a aumentâ la bande di trasmission* e cussì o podìn miorâ lis prestazions (Figure 7).

Seconde pussibilitât. O pues aumentâ la potence dal segnâl trasmetût, e cussì o ridûs la probabilitât di erôr sul canâl e indi aumenti la capacitât otignint un valôr plui grant par *E*(*R*) (Figure 8).

Chestis dôs pussibilitâts, come che o vin za dite, a jerin ben cognossudis di ducj i inzegnîrs des telecomunicazions. La funzion *E*(*R*) e descrîf il mecanisim za cognossût dal ûs de bande e de potence dal segnâl tant che risorsis trasmissivis e salacor dal lôr scambi. Cumò dut câs e rive la grande novitât.

Tierce pussibilitât. Cence cambiâ la bande (*k*/*n* al reste costant) o la

potence dal segnâl o podìn miorâ lis prestazions fasint *n* simpri plui grant. O vin a disposizion une risorse gnove: la complessitât dai terminâi. Al è evident che se *n* al è une vore grant i algoritmis di codificazion (e di decodificazion) a scugnin operâ cun secuencis di dâts une vore lungjis e duncje a son simpri plui complès (Figure 9).

Cemût che al capite dispès pes scuviertis sientifichis, la puartade rivoluzionarie di chest risultât e je stade preseade dome plui tart, cuant che la microeletroniche e à metût a disposizion grandis potencis e velocitât di calcul e capacitâts grandis di memorizâ i dâts. Lu à scrit une vore ben, tal 1981, un editoriâl dal *IEEE Transactions on Communications*:

> O sin sul nassi di une gnove ete, chê che i inzegnîrs a puedin sgambiâ bande e potence cuntune tierce risorse, la complessitât di elaborazion. Pal passât cuant che i dispositîfs atîfs a costavin cinc dolars l'un, la peraule complessitât e jere cjariade di conotazions negativis. Orepresint une gnove economie e à savoltât la situazion: la integrazion a largje scjale e à ridusût il cost dai dispositîfs di un milion di voltis e plusôrs gnûfs dispositîfs a son pronts a comparî. Inalore cheste complessitât, progjetade in maniere juste e introdusude tai sistemis, e deventarà une necessitât economiche.

La gnove ete che si fevele e je chê che aromai o clamìn la *societât de informazion*.

Tornâ a fâ la strade, des origjinis al dì di vuê, e ricognossi i pas critics des discuviertis che a àn fat pussibil il senari che o stin vivint e sarès une aventure inmagante, che dut câs e va fûr dai confins di cheste presentazion. O fâs dome memorie des tindincis principâls che si son aromai consolidadis.

Tal cjamp de microeletroniche, tacant dal 1971, la potence dai microprocessôrs si è dopleade in medie ogni 18 mês, dismiezant tal stes timp il cost par bit (leç di Moore). Al è chest il motôr che al sburte indevant cence polse il progrès tecnologjic, trasformant cu la stesse continuitât coscj, rindiments, manieris di produsi e di consumâ.

Par chel che al rivuarde lis tecnologjiis de conession, lis telecomunicazions, la riduzion dai coscj e va daûr dal disvilup dai mieçs di trasmission: fîi, fibris, bande largje… La largjece de bande disponibil, a paritât di cost, e devente trê voltis tant ogni 12 mês (leç di Gilder).

Par chel che al rivuarde lis rêts, il procès di riduzion dai coscj e di aument dal valôr de conession al va daûr ae afermazion di standards universâi, che a permetin di somâ une domande di conession simpri plui

slargjade; se une vore di utents a doprin il stes standard e si conetin ae stesse rêt, il cost de conession si sbasse e, tal stes timp, al cres in maniere esponenziâl il valôr produsût pai utents de rêt. Lis rêts, di fat, a cressin di valôr intant che al cres il numar des personis che si conetin e il flus des lôr comunicazions (leç di Metcalfe) (Vespasiano 2005).

Chest senari al conferme il risultât che Shannon al veve enunziât cul so teoreme elegant, vâl a dî che *la complessitât e je une risorse di sisteme potente se i sienziâts e i inzegnîrs le san doprâ*.

O vuei sierâ marcant une distinzion par nuie scontade e par chel cause di malintindiments e di semplificazions pericolosis: la *distinzion jenfri informazion e cognossince*. A son dispès doprâts tant che sinonims (societât di informazion e societât de cognossince, par esempli), cuant che invezit a son entitâts diviersis e cussì a van definidis e ricognossudis. Al concet di informazion o podìn associâ cuantitâts discretis e misurabilis (i bits di informazion), robe che invezit no podìn fâ cul concet di cognossince. La cognossince no je "semplice informazion" (Cerroni 2007), no pues jessi associade a un numar, no je fisichementri misurabil. *La cognossince e je une risorse necessarie par interpretâ e elaborâ la informazion.* Une cuantitât di informazion ancje se grande no je ancjemò, par chest, cognossince.

La cognossince e je duncje un procès culturâl e sociâl une vore complès: te economie de cognossince la capacitât di zontâ valôr ai bens prodots no salte tant fûr dal trasferiments di pacuts di informazion (par esempli des universitâts aes impresis) si ben soredut de esistence di un ambient complessîf dificil di definî tai contors, caraterizât di une culture de inovazion fuarte e fondât pal plui sul capitâl uman.

Une cognossince critiche e consapevul e clame la responsabilitât grande dal sisteme educatîf di une comunitât, di un Païs; e ducj nô o sin consapevui di cetant impegn che al domande il sisteme educatîf dal nestri Païs: ae politiche nazionâl e locâl, ai insegnants, ai adults tai confronts dai plui zovins. Di une cognossince critiche e consapevul si nudrìs ancje la democrazie, e l'impegn al è duncje a plen cjamp.

Cuant che o viôt i miei nevoduts movisi cuntune disinvolture aromai cetant plui grande de mê devant di un terminâl, mi cjati dispès a rifleti sul fat che a son daûr a fâ dome il prin pas, impuartant nancje di discori, ma no ancjemò chel decisîf, chel che al domande la nestre atenzion

educative come fatôr determinant par fâ in maniere che no deventi vere la tant sugjestive e altretant signestre premonizion di Jorge Louis Borges che, te *Biblioteca de Babel*, al scrîf: "Yo conozco distritos en que los jovenes se prosternan ante los libros y besan con barbarie las paginas, pero no saben descifrar una sola letra". Evitâ che chest al tocji ai nestris fîs e nevôts sentâts devant di un terminâl conetût cu la rêt al è il compit che i spiete ae nestre gjenerazion.

Bibliografie/ References

Cerroni A. (2007). *Scienza e società della conoscenza*. Torino: Utet.
Gleick J. (2011). *The Information. A History, A Theory, A Flood*. New York: Pantheon Books.
Shannon C.E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423.
Shannon C.E. (1949). Communication Theory of Secrecy Systems. *Bell System Technical Journal*, 28: 656-715.
Vespasiano F. (2005). *La società della conoscenza come metafora dello sviluppo*. Milano: Franco Angeli.