

# Un caso di studio: Cuenca (Ecuador)

Paolo Gasparini, Maurizio Giugni, Antonio Santo, Raffaella Gonnella

*Il Piano di gestione del rischio per i sistemi di distribuzione idrica e di drenaggio urbano di Cuenca in Ecuador può costituire un'esperienza sulla quale riflettere: nel bene e nel male.*

**L**e reti di servizio ubicate in aree soggette a frequenti eventi di natura idrogeologica, sismica e vulcanica sono tra le infrastrutture più vulnerabili. Nello stesso tempo, alcune di esse (reti di gas, fognature, luce elettrica, ecc.) possono produrre ingenti danni all'ambiente se danneggiate da un evento. Cosciente di questa minaccia, l'ETAPA (Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, Ecuador), che gestisce le reti di acqua potabile e di fognatura della città andina di Cuenca, ha chiesto e ricevuto dall'International Development Bank (IDB) un finanziamento per elaborare un piano di gestione dei rischi per i sistemi fognario e di acqua potabile della città.

La città di Cuenca, dichiarata dall'UNESCO "Patrimonio Culturale dell'Umanità", è ubicata nella zona meridionale della Repubblica dell'Ecuador, in una valle tra la cordigliera occidentale ed orientale delle Ande. Il centro urbano si sviluppa tra le quote 2.380 e 2.700 m s.l.m.m., in un'area interessata dai bacini dei fiumi Tomebamba, Yanuncay, Tarqui e Machángara, sino alla confluenza con il fiume Cuenca (Figura 1). I bacini idrografici sono caratterizzati da pendenze elevate e da tempi di concentrazione ridotti.

L'ETAPA ha affidato ad AMRA l'incarico, portato a termine nel maggio 2011. Esso è stato sviluppato attraverso le seguenti fasi:

- analisi delle caratteristiche dell'area di studio e dei sistemi idrici;
- analisi di scenari di rischio, con riferimento sia ai possibili eventi naturali, cioè piene e magre fluviali, frane, terremoti, eruzioni vulcaniche, sia ad inefficienze dei sistemi, sia a sabotaggi (Figura 2), valutando altresì la possibilità di effetti concatenati (multi rischio);
- redazione di un Piano di Gestione e mitigazione del rischio, basato su misure strutturali e non strutturali;
- formulazione di un Piano di Emergenza.

Schematicamente la rete di distribuzione idrica di Cuenca è costituita da tre sottosistemi (Tomebamba, Yanuncay e Machángara), ciascuno servito da un impianto di potabilizzazione alimentato, mediante canali a pelo libero, da captazioni fluviali. Ciascun sottosistema è munito - attesi i notevoli dislivelli geodetici - di alcuni serbatoi di testata, ognuno al servizio di una sub-rete di distribuzione. Il sistema distribuisce nel complesso una portata media giornaliera di circa 2 m<sup>3</sup>/s, con una dotazione idrica di circa 330l/ab·g.

Il sistema fognario è costituito da collettori che si sviluppano prevalentemente lungo i corsi d'acqua che attraversano la città, destinata alla raccolta delle acque reflue e di prima pioggia, addotte all'impianto di trattamento (lagunaggio)

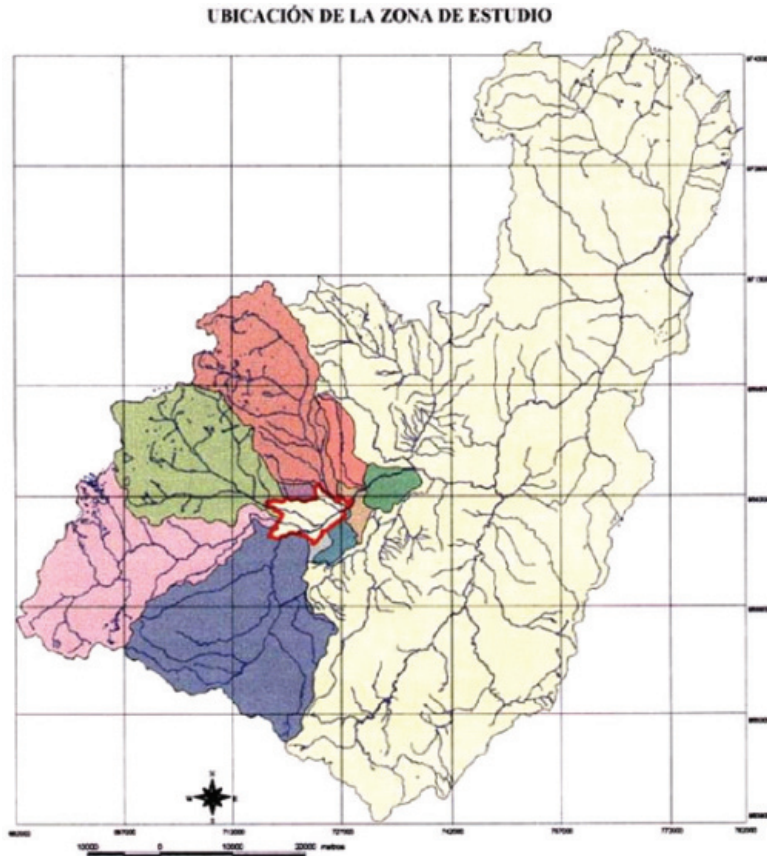


Figura 1. Area urbana di Cuenca e rete idrografica (Proyecto Macua, 1997).

di Ucubamba. Solo alcuni tratti sono adibiti al collettamento delle acque meteoriche, che vengono scaricate direttamente nei fiumi.

### Analisi della pericolosità

L'analisi della pericolosità è stata effettuata per i diversi scenari presi in esame, procedendo alla elaborazione delle seguenti carte:

a) *Carta della suscettibilità reale ai fenomeni franosi*, elaborata procedendo preliminarmente alla redazione delle mappe geolitologica, geomorfologica e delle pendenze ed all'inventario dei fenomeni franosi nell'area di studio, ed assegnando a ciascuna frana un grado di suscettibilità reale, in base alla tipologia ed alla intensità (lunghezza e velocità del corpo di frana,

profondità della superficie di scorrimento, volume mobilitato, ecc.) [1];

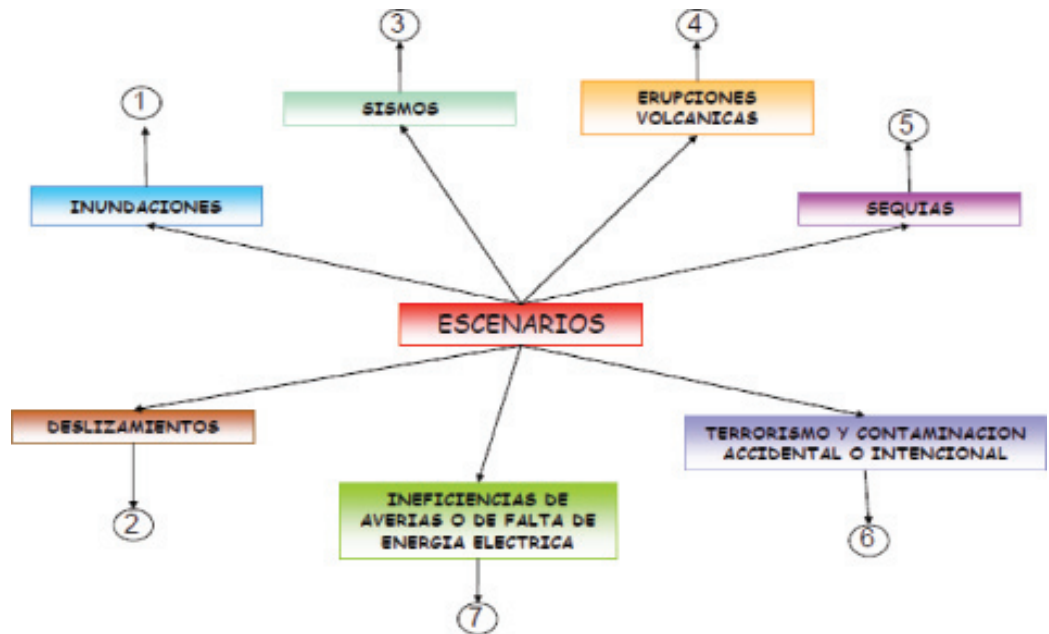
b) *Carta della suscettibilità ai fenomeni idrogeologici*, elaborata in base all'analisi globale dei fenomeni franosi, d'inondazione (suscettibilità alluvionale) e di trasporto solido. La suscettibilità alluvionale, in particolare, in mancanza dei dati necessari per uno studio idraulico attendibile<sup>1</sup>, è stata basata su principalmente su criteri geomorfologici, considerando suscettibili alle inondazioni le aree piane, poste in prossimità dei corsi d'acqua e caratterizzate da livelli topografici di 1÷2 m più elevati del letto fluviale. Si è proceduto, inoltre, ad una stima della probabilità di eventi franosi indotti da piogge che superino una soglia critica di intensità e durata (multi rischio);

c) *Carta della suscettibilità ai fenomeni sismici*, redatta in base alla valutazione della probabilità di occorrenza delle accelerazioni al suolo e degli effetti di sito indotti dalle caratteristiche geologiche del suolo [3], procedendo alla classificazione dell'area di studio in tre sottozone, contraddistinte da valori dell'accelerazione compresi tra 0,55 e 2,07 m/s<sup>2</sup>;

d) *Pericolosità vulcanica*: attesa la distanza dei vulcani attivi (Chimborazo, Tungurahua, Sangay) dalla città, dell'ordine di 120÷170 km, la caduta di ceneri è stata considerata l'unico fattore di pericolosità associato all'attività vulcanica. In pratica è stata dapprima valutata la probabilità di occorrenza di eruzioni caratterizzate

<sup>1</sup> Sulla scorta delle misure della portata annuale massima istantanea fornite dalla rete di monitoraggio idro-meteorologico di ETAPA con riferimento ai quattro bacini idrografici in esame (Tomebamba, Yanuncay, Tarqui e Machángara), è stato possibile soltanto procedere al calcolo delle portate al colmo nelle sezioni di chiusura, per periodo di ritorno compreso tra 10 e 100 anni [2].

Figura 2. Scenari di rischio considerati.



da un assegnato valore del *Volcanic Explosivity Index* (VEI) [4] e successivamente la probabilità di accumulo nell'area di studio di uno spessore di ceneri pari a 5 cm (che potrebbe dar luogo a contaminazioni idriche ed a problemi respiratori per la popolazione) ed a 20 cm (pericoloso anche per la stabilità delle strutture);

- e) *Magre*: sulla base dei dati di portata media giornaliera forniti dalle reti di monitoraggio di ETAPA, sono state costruite le curve di durata dei corsi d'acqua dell'area di studio al variare del periodo di ritorno T (10÷50 anni), procedendo altresì al calcolo del Deflusso Minimo Vitale [5], assunto pari a  $Q_{7,10}$  (portata minima su finestra mobile di 7 giorni con T = 10 anni). Il confronto tra fabbisogni (portate di alimentazione del sistema di distribuzione idrica) e disponibilità ha messo in evidenza la possibilità di crisi idriche, in particolare nel caso in cui venisse introdotto in Ecuador l'obbligo di rispettare il Deflusso Minimo Vitale;
- f) *Contaminazione accidentale o intenzionale*: le simulazioni effettuate

hanno consentito di verificare l'efficacia della disinfezione per clorazione nel sistema di distribuzione idrica (come, d'altronde, evidenziato anche dai prelievi in campo di cloro residuo effettuati da ETAPA). Va segnalata, però, la presenza di manganese nella portata captata dal fiume Machángara e convogliata all'impianto di potabilizzazione di Tixán, a causa dell'attraversamento di un sistema franoso prodottosi nel 2001. Il contatto dell'acqua con il materiale detritico favorisce il rilascio di metalli nella loro forma ridotta e, quindi, solubile. Parte del manganese solubilizzato ritorna allo stato solido per effetto dell'ossigeno contenuto nell'acqua sotto forma di minuti cristalli, che le conferiscono un caratteristico colore marrone-nerastro e che sono responsabili della formazione di incrostazioni sia nei filtri dell'impianto di potabilizzazione che sulle pareti delle tubazioni. L'aliquota di manganese che rimane solubile contribuisce, inoltre, a mantenere elevato il tenore di tale metallo nell'acqua distribuita all'utenza, con valori

della concentrazione ben oltre i 400 mg/l consigliati dalla World Health Organization. Il sistema idrico, infine, risulta fortemente vulnerabile all'immissione accidentale o intenzionale (attacchi terroristici) in rete di contaminanti: in particolare, negli scenari simulati i tempi di arrivo del contaminante ad alcuni serbatoi sono molto ridotti ed il numero di utenti a rischio è elevato;

g) *Insufficienza funzionale dei sistemi:* le simulazioni idrauliche effettuate hanno messo in evidenza un funzionamento quali-quantitativo nel complesso soddisfacente del sistema di distribuzione idrica, pur se legato alla corretta gestione delle valvole di regolazione di portata e pressione di cui esso è munito, per la quale è stata suggerita da AMRA una procedura automatizzata. Il volume complessivo dei serbatoi appare adeguato sia per il compenso giornaliero che per fronteggiare, sia pure per breve tempo, condizioni di approvvigionamento ridotto.

Le simulazioni idrauliche effettuate per il sistema fognario ne hanno evidenziato, invece, la sostanziale inadeguatezza: infatti esso è in grado di convogliare con gradi di riempimento accettabili le acque reflue, ma va in pressione in diversi tratti in presenza delle acque di prima pioggia.

### **Analisi degli elementi esposti**

L'analisi dell'area di studio e dei sistemi di distribuzione idrica e di drenaggio urbano di Cuenca ha consentito di definire le strutture e le infrastrutture esposte, elaborando una *mappa dell'esposizione*. In maggior dettaglio, oltre alle tubazioni costituenti i sistemi idrici, sono state individuate e georeferenziate:

- le infrastrutture principali del sistema di distribuzione idrica: serbatoi,

stazioni di sollevamento, impianti di potabilizzazione;

- le infrastrutture principali del sistema di drenaggio urbano: impianto di trattamento di Ucubamba;
- gli uffici ed i depositi di ETAPA;
- le centrali elettriche e telefoniche (su specifica richiesta di ETAPA).

### **Analisi della vulnerabilità e del rischio**

La sovrapposizione delle carte della pericolosità (o suscettibilità) e dell'esposizione ha consentito di mettere in evidenza i beni esposti nei diversi scenari considerati e di procedere, quindi, alla valutazione della vulnerabilità e del rischio.

A titolo d'esempio, quasi tutti i collettori fognari principali, realizzati ai margini dei corsi d'acqua, sono risultati esposti alle piene fluviali, così come alcuni tratti della rete idrica lungo il fiume Tomebamba, alcuni serbatoi ed impianti di sollevamento, l'impianto di trattamento di Ucubamba e la centrale telefonica di Capulispanpa.

In Tabella 1 sono stati riportati gli scenari di rischio considerati e le possibili conseguenze, che potrebbero risultare estremamente onerose sia sotto l'aspetto economico che per la cittadinanza, sottoposta a limitazioni o interruzioni del servizio. Vanno segnalati, inoltre, i possibili fenomeni di contaminazione dovuti al danneggiamento dei tratti a pelo libero che convogliano le portate captate dai corsi d'acqua agli impianti di potabilizzazione.

### **Piano di gestione e mitigazione del rischio**

Sulla base dei risultati ottenuti è stato, quindi, possibile definire un piano di gestione del rischio, individuando misure di mitigazione, sia strutturali che non

strutturali, classificate in interventi a breve, medio e lungo termine. In Tabella 2 è stato sintetizzato il complesso delle principali misure di mitigazione del rischio riferite ai diversi scenari presi in esame, tra le quali sono in particolare da segnalare:

- a) per le piene fluviali: a breve termine, l'integrazione della rete di monitoraggio idro-meteorologico di ETAPA (piogge, portate, livelli di falda) e la definizione ed attivazione di un sistema di *early warning*, basato su:
- l'identificazione di sezioni "critiche" per i fenomeni d'inondazione per i diversi corsi d'acqua;

- la misura del tirante idrico ed il calcolo delle portate mediante le scale di deflusso all'uopo predisposte;
- l'attivazione delle misure previste nel Piano di Emergenza al superamento di soglie prefissate (attenzione, preallarme, allarme, emergenza);

a lungo termine, la definizione di un piano di interventi strutturali, tra i quali si è consigliata in particolare la realizzazione – vista anche la topografia in prevalenza pianeggiante dell'area di studio – di casse di espansione e limitati tratti arginati;

Tabella 1. Scenari di rischio considerati per i sistemi idrici di ETAPA.

Inondazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Allagamento di serbatoi e stazioni di sollevamento</li> <li>– Allagamento dell'impianto di trattamento</li> <li>– Allagamento di una centrale telefonica</li> <li>– Pressurizzazione del sistema di drenaggio urbano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Limitazioni del servizio di distribuzione idrica</li> <li>– Flash floods urbane</li> </ul>
Frane	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Danni a tubazioni a pelo libero o a pressione del sistema di distribuzione idrica</li> <li>– Danni a serbatoi e stazioni di sollevamento</li> <li>– Danni a spechi fognari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Limitazioni del servizio di distribuzione idrica</li> <li>– Contaminazione delle acque dei canali a pelo libero o degli impianti di potabilizzazione</li> <li>– Flash floods urbane</li> </ul>
Terremoti	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Danni a tubazioni, serbatoi, stazioni di sollevamento</li> <li>– Danni ai tronchi di adduzione a pelo libero</li> <li>– Danni a spechi fognari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Limitazioni del servizio di distribuzione idrica</li> <li>– Contaminazione delle acque dei canali a pelo libero o degli impianti di potabilizzazione</li> <li>– Flash floods urbane</li> </ul>
Eruzioni vulcaniche	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Caduta di ceneri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Contaminazione delle acque dei canali a pelo libero scoperti o degli impianti di potabilizzazione</li> </ul>
Magre	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riduzione delle portate captate dai corsi d'acqua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Limitazioni del servizio di distribuzione idrica</li> </ul>
Contaminazione accidentale o intenzionale	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Immissione accidentale o intenzionale di contaminanti in corrispondenza di tratti di adduzione a pelo libero scoperti o di serbatoi fuori terra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Limitazioni o interruzione del servizio di distribuzione idrica</li> </ul>
Insufficienza funzionale dei sistemi	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pressurizzazione del sistema fognario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flash floods urbane</li> </ul>



PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO						
	Piene	Frane	Terremoti ed Eruzioni Vulcaniche	Magre	Contaminazione intenzionale o accidentale	Insufficienza funzionale dei sistemi idrici
A breve termine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrazione della rete di monitoraggio idro-meteorologica (piogge, portate, livelli di falda)</li> <li>- Sistema di Early Warning</li> <li>- Porte a tenuta ermetica (serbatoi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Per frane veloci (flussi detritici) e distacchi:</li> <li>- Delocalizzazione delle strutture a rischio</li> <li>- Reti di drenaggio delle acque meteoriche</li> <li>- Interventi strutturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Copertura vasche impianti di potabilizzazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema di Early Warning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interventi di protezione e riabilitazione dei tratti a pelo libero</li> <li>- Rete di monitoraggio quali-quantitativa del sistema di distribuzione idrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modello di gestione automatica delle valvole di regolazione</li> <li>- Sistemazione della frana del Soroché (manganeso)</li> <li>- Protezione e vigilanza degli impianti di potabilizzazione</li> <li>- Misure non strutturali per la riduzione dei carichi contaminanti</li> </ul>
A medio termine				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ristrutturazione delle opere di captazione fluviali</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Raddoppio dei tratti insufficienti del sistema di drenaggio</li> <li>- Riduzione delle portate di piena mediante interventi di Best Management Practices (BMP) a scala di bacino</li> <li>- Vasche di prima pioggia</li> </ul>
A lungo termine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interventi strutturali (casse di espansione, arginature)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fenomeni complessi e scorimenti rotazionali:</li> <li>- Monitoraggio delle strutture a rischio</li> <li>- Reti di drenaggio delle acque meteoriche</li> <li>- Interventi strutturali</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opere di approvvigionamento integrative</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Piano di Controllo Territoriale degli scarichi nei corpi idrici</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rete per il collettamento delle acque meteoriche (T=5÷10 anni)</li> </ul>

(nella pagina accanto)  
Tabella 2. Piano di gestione del rischio.

- b) per le frane: l'integrazione di misure non strutturali (delocalizzazione o monitoraggio delle strutture a rischio, reti di drenaggio superficiali delle acque meteoriche) e strutturali, da adattare al caso specifico;
- c) per le magre: a breve termine, la realizzazione di un sistema di *early warning* basato sull'analisi dell'andamento delle portate medie mensili; a medio termine, la ristrutturazione delle opere di captazione fluviali per incrementare i prelievi; a lungo termine, la pianificazione di opere di approvvigionamento integrative (invasi di modeste dimensioni per la regolazione dei deflussi);
- d) per la contaminazione accidentale o intenzionale: a breve termine, una rete di monitoraggio quali-quantitativa del sistema di distribuzione idrica; a lungo termine, un Piano di Controllo Territoriale degli scarichi a scala regionale per la difesa della qualità delle acque superficiali;
- e) per le flash floods urbane: a medio termine, il raddoppio dei tratti insufficienti, la realizzazione di vasche per il controllo delle acque di prima pioggia (caratterizzate in genere da forti carichi contaminanti), un piano a scala di bacino per la riduzione delle portate di piena mediante interventi di Best Management Practices (BMP), quali sistemi di infiltrazione, tetti verdi, pavimentazioni permeabili, vasche volano; a lungo termine, la messa in opera di una rete "bianca" per il collettamento delle acque meteoriche, dimensionata per un periodo di ritorno di 5÷10 anni.

### Piano di Emergenza

Sulla scorta della attività descritte in precedenza si è proceduto, infine, alla redazione del Piano di Emergenza, co-

stituito fundamentalmente dai seguenti elementi:

- a) attività di potenziamento e/o di nuova attivazione di reti di monitoraggio:
  - rete di monitoraggio idro-meteorologico;
  - rete di monitoraggio quali-quantitativa del sistema di distribuzione idrica;
  - rete accelerometrica;
- b) attivazione di un Sistema di Allerta per le piene e le magre fluviali;
- c) messa a punto di un software per la valutazione della pericolosità degli eventi di origine naturale, considerando anche effetti concatenati (multi rischio), utilizzando i dati della rete di monitoraggio per aggiornare la probabilità di occorrenza a breve termine;
- d) attivazione delle seguenti strutture operative:
  - centro di monitoraggio;
  - centri operativi d'intervento;
  - centro operativo di coordinamento;e definizione di un protocollo operativo per un'efficiente gestione del Piano nelle diverse fasi previste (attenzione, preallarme, allarme, emergenza).

### Bibliografia

1. Cruden D.M., Varnes D.J. (1996) Landslides Types and Processes. In: *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press.
2. Majone U., Tomirotti M., Galimberti G. (2009) Probabilistic models for the estimation of high return period peak flood flows. *L'Acqua*, n. 3.
3. Egred J. (1999) *Catálogo sísmico del Ecuador*. Instituto Geofísico – EPN, Quito.
4. Newhall C., Self S. (1982) The Volcanic Explosivity Index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.*, 87 (C2).
5. Giugni M. (2008) Sul Deflusso Minimo Vitale. *L'Acqua*, n. 6.