

VITO NOTARNICOLA

INSTABILITÀ IDROGRAFICA E NUOVA VIABILITÀ NELL'ORIENTE BOLIVIANO

1. *Introduzione.* – L'area alla quale si riferisce il presente lavoro è la pianura situata a nord-ovest della città di Santa Cruz de la Sierra, capitale dell'omonimo dipartimento in Bolivia, e fa parte dell'unità morfologica conosciuta come Pianura Chaco-beniana, al piede della Cordigliera Subandina orientale.

Il territorio è distinto da morfologie appiattite e da basse colline che al limite della zona pedemontana si elevano di poche decine di metri.

Sin dal Paleozoico la Pianura Chaco-beniana è stata sede di accumulo di sedimenti di varia granulometria, da estremamente fini a grossolani, con differente grado di cementazione. Anche i sedimenti quaternari che si incontrano lungo il corso dei fiumi risultano costituiti da depositi alluvionali che passano da argille a limo, a sabbie o a ghiaie.

I corsi d'acqua che attraversano la pianura hanno origine dalle catene Andina e Subandina, con vastissimi bacini e con pendenze longitudinali degli alvei molto sostenute che di colpo si annullano allo sbocco nella pianura.

Dalle caratteristiche dei bacini e da questa improvvisa perdita di pendenza degli alvei scaturiscono i gravi problemi di instabilità idrografica dell'area.

Nella Pianura Chaco-beniana convergono tutti i corsi d'acqua che scendono dal versante orientale delle Ande e che, dopo aver esaurito il loro potere erosivo, devono ancora percorrere il lungo viaggio fino all'Oceano Atlantico. Si tratta di un percorso di oltre 3500 km, senza tener conto delle interminabili meandricazioni, durante il quale essi si riuniscono in collettori maggiori (Río Grande, Río Piraí, Río Yacaní, Río Ichilo, Río Chimoré) a loro volta affluenti del Río Mamoré che poi confluisce nel Madeira, al confine nord-orientale con il Brasile; questo a sua volta conclude la sua corsa nel Rio delle Amazzoni.

La particolarità della Pianura Chaco-beniana consiste nel fatto che si trova a quota compresa tra i 200 e i 300 m s.m. e che l'Oceano Atlantico, verso il quale i corsi d'acqua sono diretti, dista, come si è detto, ben 3500 km, distanza che deve essere almeno triplicata considerando il tracciato effettivo dei fiumi, il che comporta una pendenza pressoché nulla degli alvei. Ma la causa maggiore dei problemi della regione è l'avere alle spalle le catene Andina e Subandina. In esse si aprono i bacini dei fiumi, le cui portate risentono dell'ubicazione e della vastità degli impluvi, nonché della variabilità pluviometrica e della pendenza degli alvei. Le loro piene improvvise possono arrecare danni incalcolabili a una regione che recentemente si

sta aprendo alla colonizzazione e verso la quale sono rivolte le speranze e l'attenzione di un paese tradizionalmente povero. Queste piene improvvise, della durata media di 24-48 ore, sono tanto più pericolose per le ingenti quantità di materiale solido che trasportano e che viene abbandonato là dove la pendenza naturale si riduce fino quasi ad annullarsi, e cioè nella Pianura Chaco-beniana.

I bacini andini da cui i fiumi provengono sono soggetti a forte erosione per la loro stessa natura geostrutturale (pendii molto acclivi, tettonica tormentata, rocce con altro grado di erodibilità, vaste fasce milonitiche facilmente disaggregabili) e anche per l'attività umana presente e passata. Miniere, cave, strade, contribuiscono a dissestare i versanti. E così pure il denudamento delle aree montane a scopo agricolo e il successivo abbandono delle stesse, precedentemente terrazzate e regolate da una rete capillare di umili ma efficaci opere di scorrimento, hanno largamente contribuito ad alterare il regime fluviale, caratterizzato da piene sempre più violente e da un crescente volume di materiali trasportati.

Questi sedimenti si depositano nella pianura sottostante a mano a mano che la piena si esaurisce e la velocità della corrente viene meno, alluvionando gli alvei ampi e meandriiformi. Durante la piena successiva, i fiumi, momentaneamente dotati di notevole capacità erosiva per l'onda di piena (il cosiddetto *turbión*), incontrando il proprio alveo parzialmente occupato dalle alluvioni, accentuano ed esasperano l'andamento dei meandri erodendone la sponda esterna; rompono a volte il sottile diaframma tra due meandri vicini, rettificando il percorso o riattivando temporaneamente vecchi tracciati abbandonati e parzialmente ostruiti; oppure esondano invadendo aree recentemente diboscate e coltivate, provocando danni enormi e perdite di vite umane tra le genti più umili, che ormai accettano con inevitabile fatalismo e rassegnazione il continuo ripetersi di tali calamità.

2. *La carretera Chimoré-Yapacaní.* – Logicamente tutte le opere umane realizzate in questa regione sono costantemente minacciate dalla instabilità dei letti fluviali e dalla vastità e frequenza delle inondazioni. Negli anni 1984-1988 qui è stato costruito un nuovo tronco stradale di 150 km, il cui tracciato si snoda a breve distanza dalle ultime propaggini dei rilievi della Cordigliera Subandina orientale. Si tratta della *carretera* Chimoré-Yapacaní, il tratto che mancava per completare il nuovo collegamento tra le importanti città di Cochabamba e Santa Cruz de la Sierra e che farà parte della grande arteria transcontinentale destinata a unire l'Atlantico al Pacifico, cioè le città di Santos (Brasile) ed Arica (Cile).

A prima vista, sulla base delle considerazioni appena fatte, potrebbe sembrare che l'area scelta fosse la meno adatta ad accogliere una strada e che lo spostamento dell'asse verso monte o verso valle avrebbe evitato la fascia dell'autoalluvionamento degli alvei e dei frequenti cambiamenti di corso. Ma la scelta di un tracciato è sempre dettata da fattori economici, oltre che ambientali, e forse in questo caso la scelta è stata fatta più in funzione dei primi che dei secondi.

Un percorso parallelo, spostato a monte, avrebbe richiesto maggiori movimenti di terra, mentre lo spostamento più a valle avrebbe comportato costi proibitivi per il trasporto degli «aggregati», comunque necessari in grande quantità nelle costruzioni stradali. Anche le dimensioni delle strutture sarebbero aumentate in entrambi i casi: per raccordare con viadotti scavi e terrapieni molto arditi nel primo caso, per superare corsi d'acqua dal letto sempre meno definito e fiancheggiato da vaste aree paludose difficilmente attraversabili nel secondo; inoltre la seconda soluzione avrebbe necessariamente comportato un allungamento del percorso.

Quindi il tracciato scelto per la Chimoré-Yapacaní, per quanto poco sicuro dal punto di vista dell'erosione e del deposito fluviale, ha permesso di realizzare, con movimenti di terra limitati, una buona geometria viaria e ha consentito di sfruttare economicamente i sedimenti sabbiosi e ghiaiosi delle alluvioni in posto.

E' evidente che notevoli lavori si sono resi indispensabili per stabilizzare gli alvei in prossimità degli attraversamenti: ad esempio, sono stati sgombrati dalle alluvioni i letti fluviali a monte e a valle dei ponti, sono state protette con gabbioni le sponde nei tratti sottoposti a erosione (sponda esterna dei meandri, spalle dei ponti), e soprattutto si è cercato di ubicare le opere d'arte nei tratti più stabili dei corsi fluviali e di sovradimensionare le stesse aumentandone la luce sulla sponda più esposta all'erosione.

3. *Alcune delle soluzioni adottate.* – La strada Chimoré-Yapacaní per quasi tutta la sua estensione si svolge subparallelamente al corso del Río Ichilo. Il ponte sull'Ichilo è ubicato a 55 km dall'abitato di Yapacaní, cioè dall'estremità orientale della nuova strada. L'Ichilo rappresenta il collettore principale dell'area, dato che in esso vengono a confluire tutti i corsi d'acqua attraversati dalla *carretera*.

A monte dell'attraversamento il bacino del Río Ichilo ha un'ampiezza di 3300 km². La sua portata massima è stimata a 6500 m³/sec, e la sua velocità massima a 2, 24 m/sec. La copiosità delle precipitazioni nell'area della strada è elevatissima. Si segnala che durante un evento eccezionale, in data 31 gennaio-1° febbraio 1987, sono stati registrati ben 360 mm di pioggia in 30 ore consecutive, con un massimo di intensità di 232 mm in 12 ore.

Il ponte sull'Ichilo, di nuova costruzione (1986), è ubicato al centro di un grande meandro, come si può osservare dalla fig. 1. Le piene del fiume possono essere violentissime e il suo potere erosivo è tale che la sponda sinistra, alta circa 12 m in corrispondenza dell'attraversamento e costituita da alternanze di sabbie fini, limo e argille in strati sottili, prima della costruzione del ponte arretrava di ben 25 m all'anno. Per questo è stato necessario proteggere ben 130 m lineari della scarpata dell'alveo mediante semplice *dumping* di materiale roccioso di grandi dimensioni (diametro medio 60 cm) ottenibile da una cava vicina. Questa semplice protezione, data la facilità della realizzazione, potrà essere mantenuta efficiente dall'amministrazione locale anche in futuro ricorrendo a una ricarica del materiale roccioso. Inoltre la lunghezza totale del ponte è stata aumentata da 257 m di progetto a 367 m effettivi, tenendo conto delle incertezze dei dati di progetto e delle osservazioni dirette compiute durante l'esecuzione.

L'Isarsama e lo Zabala sono due fiumi che confluiscono circa 3 km a valle dell'attraversamento. I due ponti distano appena 2, 5 km (fig. 2) e sono ubicati nella zona altimetricamente più bassa di tutto il tracciato. Il bacino idrografico del Río Isarsama è pari a 317 km² e quello del Río Zabala a 212 km². Le loro portate massime sono state stimate rispettivamente di 1385 e di 820 m³/sec. Per ben due volte, in occasione di piene eccezionali (14 aprile 1986 e 31 gennaio 1987) durante la costruzione, i due fiumi hanno straripato fondendo le loro acque a monte degli attraversamenti, ed è stato possibile constatare che i ponti previsti dal progetto originale, di 138 m per l'Isarsama e di 72 m per lo Zabala, non erano sufficienti. Le suddette lunghezze sono state perciò aumentate rispettivamente fino a 184 e 95 m. Inoltre è stato necessario aumentare di 1,30 m l'altezza dei ponti stessi (e dei rilevati adiacenti) e di costruire due nuovi ponti di 45 m di luce nella stessa area, in sostituzione di tombini multipli di grande diametro, per evitare che la massa d'acqua delle



FIG. 1 - VEDUTA AEREA DELL'ATTRAVERSAMENTO DEL RÍO ICHILO.

Il ponte, a 8 campate di 45 m ciascuna, è ubicato al centro di un meandro. Si noti la protezione con blocchi di roccia della sponda esterna a monte dell'attraversamento.

piene combinate dei due fiumi potesse incontrare nel manufatto una barriera o comunque un ostacolo al deflusso.

L'ubicazione del ponte sopra il Río Sacta è chiaramente mostrata nella fig. 3. L'ampiezza del bacino del Río Sacta a monte dell'attraversamento è di 1700 km² e la sua portata massima è di 5140 m³/sec. L'ubicazione di progetto del ponte è stata mantenuta in sede esecutiva. Ma mentre il progetto originale prevedeva un ponte di 824 m, la lunghezza effettiva è stata aumentata fino a 916 m (diventando così il ponte stradale più lungo della Bolivia), in modo da abbracciare senza eccessive costrizioni i differenti bracci nei quali il corso principale si suddivide in condizioni normali, ma che durante le piene si riuniscono in un unico fronte con incredibile capacità erosiva e di trasporto.

Il ponte sopra il Río Yapacaní è ubicato all'estremità orientale della nuova *carretera*. La struttura esisteva già prima dell'inizio dei lavori della strada; possiede tuttavia una storia interessante e un futuro piuttosto incerto su cui vale la pena soffermarsi.

L'area totale del bacino a monte dell'attraversamento è di quasi 4000 km² e la portata massima è di ben 8000 m³/sec. Il ponte è ubicato poco a valle della confluenza del Río Yapacaní con il Río Surutú. I due fiumi hanno caratteristiche diverse: mentre il Surutú ha una capacità di trasporto piuttosto bassa, limitata a limo e

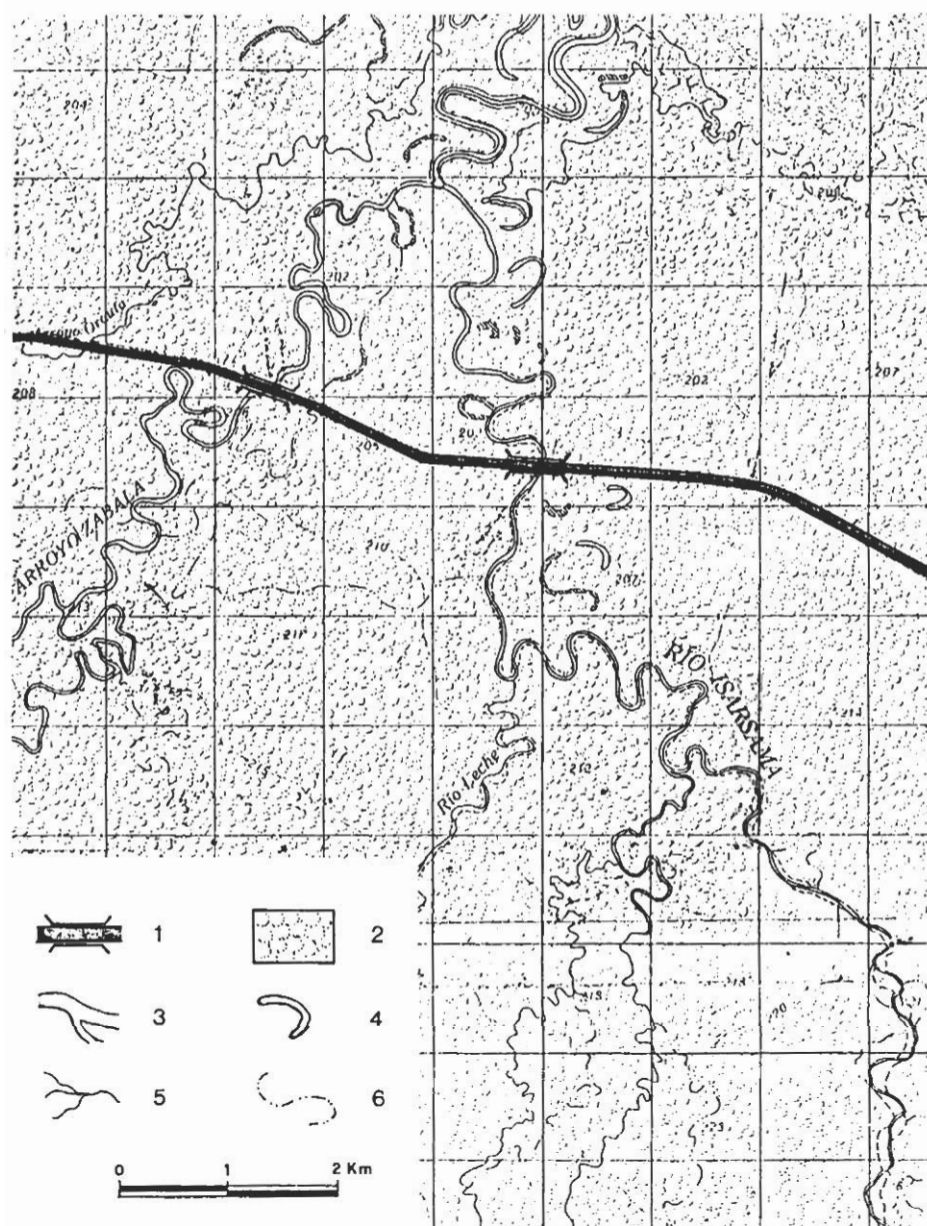


FIG. 2 - GLI ATTRAVERSAMENTI DEI FIUMI ISARSAMA E ZABALA.

Si notino l'andamento meandriforme ed i frequenti cambiamenti di corso dei fiumi.

1, strada Chinoné-Yapacaní, con ponte; 2, foresta; 3, fiumi; 4, meandri morti; 5, corsi d'acqua minori temporanei; 6, isoipse.



FIG. 3 - VEDUTA AEREA DEL PONTE SUL RÍO SACTA.

Il ponte, a 20 campate di 45 m ciascuna, è stato costruito nel 1987. In sede esecutiva è stato necessario aumentare di 90 m la lunghezza totale della struttura per non strozzare troppo il letto fluviale ed evitare problemi futuri.

sabbia molto fine, lo Yapacaní è ancora in grado di trasportare, durante le piene, ghiaia di dimensioni fino a 30 cm di diametro, che viene depositata sulla riva sinistra a monte della confluenza, mentre la riva destra si sposta continuamente verso est per la crescente erosione.

Nell'area della confluenza a monte dell'attraversamento, durante le piene le acque dello Yapacaní ostacolano il deflusso di quelle più lente del Surutú. Si forma così un grande vortice che erode inesorabilmente la sponda destra del Surutú (come pure dello Yapacaní a monte della confluenza), mentre le sponde sinistre sono sede di deposito. Come risultato, la confluenza si sposta costantemente verso nord-est minacciando seriamente la spalla orientale del ponte e il tratto di strada adiacente.

Il ponte venne costruito nel 1967 di una lunghezza totale di 510 m, ma l'anno successivo venne messo fuori uso da una piena che ne distrusse la spalla destra e l'ultima campata. Nel 1972 il ponte venne riabilitato ripristinando la campata distrutta e costruendo tre luci addizionali sul lato destro. Attualmente il ponte possiede 18 campate di 38 m ciascuna, ma di esse soltanto 11 sono percorse dalle acque. A causa della progressiva sedimentazione sulla sinistra idrografica ben sei luci sono interrare, mentre sulla sponda destra una massiccia protezione rende inutile l'ultima campata.

Nella fig. 4 vengono mostrati chiaramente i vari stadi del processo erosivo e

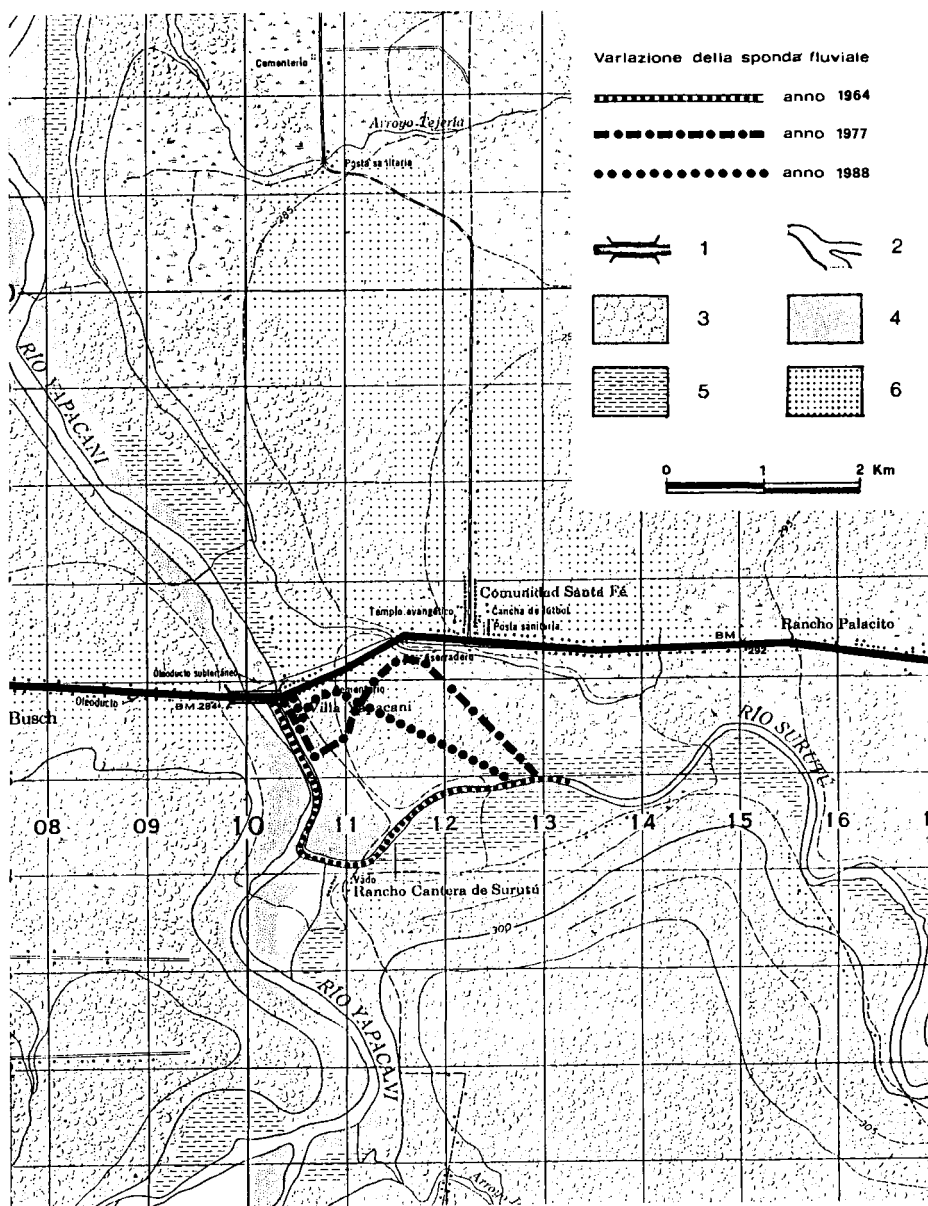


FIG. 4 - L'ATTRAVERSAMENTO DEL RIO YAPACANÍ.

Si noti l'avanzata dell'erosione della sponda destra verso la spalla del ponte.

1, strada Chimoré-Yapacaní, con ponte; 2, fiumi; 3, foresta; 4, alluvioni; 5, terreno inondabile; 6, coltivazioni.



FIG. 5 - VEDUTA AEREA DEL PONTE SUL RIL YAPACANI

Costruito nel 1967, parzialmente distrutto nel 1968 e restaurato nel 1972, il ponte è ora gravemente minacciato dal progressivo spostamento verso nord-est della confluenza del Rio Yapacani con il Rio Surutú.

L'avvicinamento progressivo della confluenza alla spalla destra del ponte (la fig. 5 mostra la drammaticità della situazione attuale: una piena eccezionale potrebbe facilmente portare all'aggrimento della spalla destra, che rischierebbe di rimanere isolata per il dilavamento della rampa di accesso).

È stato eseguito uno studio di *river training* e sono state presentate raccomandazioni all'amministrazione locale con la finalità di salvare il ponte e la strada mediante la costruzione di massicci protettori-guà (*guide banks*) in riva destra, ed anche nella grande ansa del Surutú, e con la messa in opera graduale di pennelli deflettori del flusso della corrente, in modo da permettere il ripascimento parziale delle anse erose e soprattutto riportare il corso fluviale verso la sponda sinistra, dove ben sei luci di 38 m ciascuna restano inutilizzate perché il fiume non scorre più sotto questa parte del ponte.

La scarsità delle informazioni di base (precipitazioni, portate, velocità, livelli massimi raggiunti), l'imponenza delle opere di protezione da realizzare comunque gradualmente al fine di verificarne gli effetti, la precarietà della situazione attuale e la carenza di adeguati finanziamenti contribuiscono a rendere estremamente incerto il futuro del ponte.



FIG. 6 - VEDUTA AEREA DEL PONTE SUL RÍO CONI.

Costruito nel 1964 e parzialmente distrutto nel 1987, il ponte è stato restaurato nel 1988 ricostruendo la campata dilavata ed allungandolo di 90 m con l'aggiunta di due nuove luci. L'alveo fluviale è stato regolarizzato a monte per oltre 1 km.

Il ponte sul Río Coni non fa propriamente parte della strada Chimoré-Yapacaní, perché è ubicato 15 km oltre l'estremità occidentale di essa, verso la città di Cochabamba. Tuttavia se ne fa cenno per la sua storia e per i lavori di recupero che sono stati eseguiti.

Il ponte originale, a 3 campate di 38 m ciascuna, venne costruito nel 1964. La sua ubicazione era prevista 2 km a valle, dopo la confluenza con il vicino Río Vinchuta. Giustamente il progetto fu modificato in sede esecutiva e vennero realizzati due ponti distinti, più a monte, al fine di evitare le complicazioni idrografiche che la vicinanza di una confluenza può implicare.

Nonostante questi accorgimenti, durante la piena eccezionale del 14 aprile 1986 il Río Coni ha parzialmente cambiato il suo corso, formando un'ansa sulla destra idrografica e lasciando un'isola al centro dell'alveo. In tal modo gran parte del flusso si è concentrata sul lato destro del ponte, asportandone l'impalcato della luce attigua alla spalla destra (depositato 80 m più a valle) e dilavando il rilevato di accesso alla spalla stessa (fig. 6).

I lavori di recupero della struttura, ultimati nel 1988, consistettero nella ricostruzione della luce asportata e nella costruzione di due luci addizionali sulla destra i-

drografica. Per tale lavoro è stato necessario demolire completamente la spalla destra originale e sostituirla con una pila. Inoltre è stato regolarizzato l'alveo fluviale per oltre un chilometro a monte dell'attraversamento ed è stata protetta con gabbioni l'ansa fluviale formatasi in riva destra, al fine di guidare il fiume verso il ponte e di ostacolarne la tendenza a erodere.

4. *Conclusioni.* – La *carretera* Chimoré-Yapacaní dimostra che, grazie al concorso di moderne tecnologie, è possibile ed anche economico realizzare un asse stradale in un'area idrograficamente instabile attraversata da numerosi corsi d'acqua a regime molto variabile.

Tuttavia, per garantirne una prolungata utilizzazione è indispensabile controllare costantemente il comportamento dei fiumi ed intervenire dopo ogni stagione piovosa in modo da correggere localmente con pennelli e massicciate protettive l'erosione e le divagazioni dei corsi d'acqua.

D'altra parte tutte le opere umane, e in questi casi soprattutto, costituiscono alterazioni dei precari equilibri naturali. Ogni trincea, ogni terrapieno, ogni ponte provoca un impatto ambientale, una distorsione dell'assetto precedente che la natura tende a restaurare. Pertanto è importante progettare le opere in modo da minimizzare tali alterazioni, studiando accuratamente le dinamiche idrografiche regionali al fine di ottenere opere durature.

Un altro tipo di intervento consiste nella stabilizzazione dei versanti montani che alimentano i corsi d'acqua. E' confermato che la violenza delle piene fluviali e il volume dei sedimenti aumentano di anno in anno. Il rimboschimento capillare e la costruzione di briglie nei punti strategici dei bacini certamente consentirebbero di controllare il fenomeno e contribuirebbero al recupero delle terre vallive che ogni anno diventano più sterili e si vanno progressivamente spopolando.

Ma le condizioni economiche e amministrative della Bolivia rendono impensabile questa sistemazione dei versanti montani, che richiederebbe uno sforzo finanziario immenso con un beneficio apparente molto limitato. Al più vengono intrapresi lavori di dettaglio, non inseriti in un piano generale o di bacino, portati avanti per l'iniziativa di pochi volenterosi, spesso missionari, che valendosi dell'aiuto dei paesi dai quali provengono (l'Italia è uno di questi), con mezzi limitati e coinvolgendo nel lavoro gli abitanti, riescono a risolvere qualche problema locale di approvvigionamento di acqua potabile e di irrigazione. E' un modo per evitare che le acque piovane scorrano velocemente verso i collettori e per mantenere umide e produttive le terre vallive, altrimenti destinate al degrado e all'abbandono. E' un lavoro prezioso, ma comunque insufficiente a risolvere il problema generale dell'instabilità dei versanti.

BIBLIOGRAFIA

- AHLFELD F. e SCHNEIDER SCHERDINA A., *Los yacimientos minerales y de hidrocarburos de Bolivia*, La Paz, Min. de Minas y Petróleo, Dep. Nac. de Geología, 1964.
- VARGAS FLORES C. e MARIACA BILBAO J., *Informe sobre la geología del sector meridional de la Faja Subandina del Norte y pequeña parte de la Faja Subandina Central*, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, La Paz, 1966.
- MAYNORD S.T., *Practical rip rap design*, Vicksburg, U.S. Army Engineers, 1978.

ESTRADA VILLAROEL J., *Como la geografía y clima estan cambiando: el fenómeno torrencial en Bolivia*, in «Facetas. Rev. de los Tiempos», Cochabamba, 17 giugno 1984.

Rodovia Chimoré-Yapacaní, *Marco de integração e progresso na Bolivia*, in «Andrade Gutierrez em Revista», Belo Horizonte, n. 10, sett.-ott. 1985, pp. 3-9.

SEARPI-CEE, *Términos de referencia de los estudios para el plan directivo de acondicionamiento de la cuenca hidrográfica del Río Piraí*, Santa Cruz (Bolivia), 1987.

RENARDET S.A. - CPM - CONANDINA, *Estudio hidrológico, Obras de protección a la confluencia de los Ríos Surutí-Yapacaní*, Santa Cruz (Bolivia), Min. de Transportes y Comunicaciones, 1988.

RENARDET S.A. - CPM - CONANDINA, *Supervisión de la carretera Chimoré-Yapacaní, Informe final*, Santa Cruz (Bolivia), Min. de Transportes y Comunicaciones, 1989.

HYDROGRAPHICAL INSTABILITY AND NEW VIABILITY IN EAST BOLIVIA. – The studied area is part of the so called Chaco-Benian Plain, at the foot of the Sub-Andean Eastern range, and presents hydrographical instability problems because of its limited elevation above sea level combined to its enormous distance to the Atlantic Ocean (about 3,500 km, disregarding river meanderings), of the widely extended river basins, of the general pluviometrical irregularity and of the great amount of materials hauled by the streams.

A new highway, 150 km long, built in the above area during the years 1984-88, represents a real challenge to the natural restraints. Some examples of river crossings have been described and commented.

Università di Urbino, Istituto di Geografia Interfacoltà.