

La variante alla Fondovalle Biferno: geotecnica, struttura e antisismica

LA VARIANTE ALLA S.S. 647 DIR. B "FONDOVALLE BIFERNO" SI E' RESA NECESSARIA A SEGUITO DI UN IMPORTANTE MOVIMENTO FRANOSO AVVENUTO NEL 1998, IN CONTRADA LAMA DEL GALLO, NEL COMUNE DI RIPALIMOSANI (CB)

*Marco Petrangeli
Massimo Pietrantoni
Andrea Tagliaferri*

La variante alla S.S. 647 dir. B "Fondovalle Biferno" si è resa necessaria a seguito di un importante movimento franoso avvenuto nel 1998, in contrada Lama del Gallo, nel comune di Ripalimosani (CB).

La frana ha danneggiato gravemente il lungo viadotto Ingotte (circa 650 m) che fu quindi parzialmente demolito con la conseguente deviazione della viabilità su un tracciato provvisorio. A seguito di questi eventi, la Regione Molise ha programmato un complesso sistema di interventi per la stabilizzazione della frana e per la costruzione della variante definitiva del tracciato stradale.

I lavori per la variante stradale sono stati gestiti dall'ANAS con una procedura di appalto integrato. La progettazione esecutiva e la costruzione dei lavori è stata affidata nel 2008 all'ATI Tre Elle Srl-PQ Edilizia e Strade Srl-Integra Srl.

Gli Autori, nel ruolo di Progettisti dell'ATI, hanno provveduto ad una revisione del progetto definitivo posto a base di gara, apportando una serie di varianti migliorative mirate in particolare agli aspetti geotecnici, strutturali e antisismici.

Geologia e geotecnica

In questo tratto, il tracciato della S.S. 647 dir. B si sviluppava lungo il versante sinistro del Vallone Ingotte, afflitto da molti decenni da un imponente fenomeno di frana.

Si tratta di un movimento franoso classificabile come una "colata di terra", caratterizzata da alcuni rami di alimentazione che convergono verso il "filone" principale che interessa l'intero pendio per una lunghezza complessiva di circa un chilometro. Nella zona terminale di fondovalle la colata si allarga a ventaglio per una larghezza di circa 200 m.

I terreni interessati dalla frana appartengono alla formazione geologica nota come "Argille varicolori". Si tratta di argille limose a struttura scagliosa, di colore grigio, verdastro e rosso vinaccia, con intercalati strati e blocchi di arenarie, calcari e marne calcaree. Come è noto, questa formazione è caratterizzata da una struttura disordinata o caotica, dovuta alle vicissitudini tettoniche (faglie, pieghe, colamenti sinsedimentari) che ne hanno complicato e scompaginato l'assetto originariamente stratificato.



1. Il nuovo viadotto Ingotte I lungo la Fondovalle del Biferno



2. Una veduta aerea della lunga colata di frana con la deviazione provvisoria della strada

Le caratteristiche strutturali sono tipiche delle formazioni note in letteratura come “strutturalmente complesse”.

Nella porzione più prossima alla superficie, le parti argillitiche risultano molto alterate e disturbate e presentano bassa consistenza ed elevata plasticità. Nelle porzioni superficiali e nelle zone soggette a forte imbibizione questi terreni, particolarmente sensibili alle variazioni del contenuto d’acqua, sono “fisiologicamente” predisposti al dissesto per fenomeni gravitativi.

Sugli aspetti riguardanti i caratteri delle “Formazioni Strutturalmente Complesse” si rimanda ai vari lavori di letteratura tra i quali il volume “Geotechnical Engineering in Italy - ISSMFE Golden Jubilee” (AGI, 1985) e in particolare “Caratteristiche Geotecniche e Stabilità dei Pendii in Formazioni Strutturalmente Complesse”.

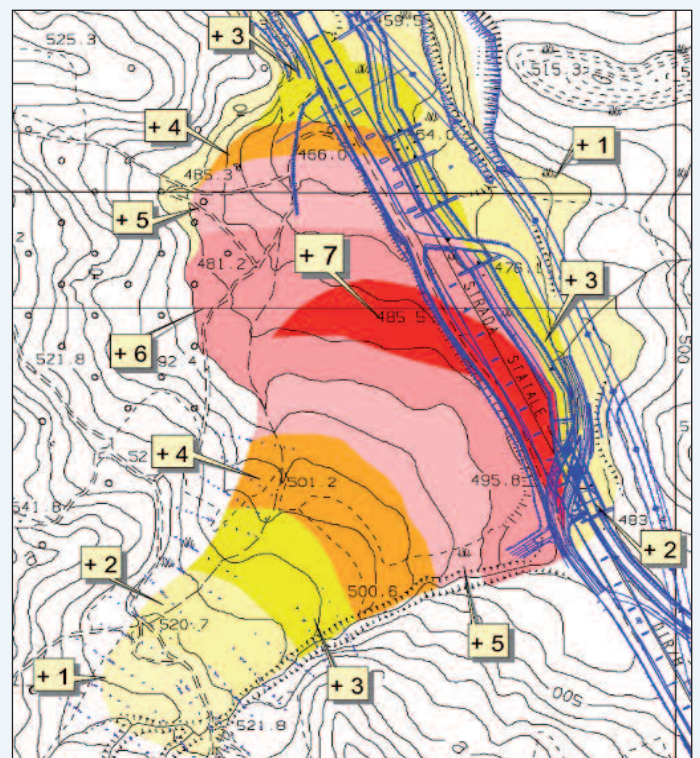
Il progetto originario

Oltre agli interventi mirati alla stabilizzazione della grande colata, avviati dalla Regione Molise nel 2005, è stato predisposto dall’ANAS un progetto per lo spostamento del tracciato stradale.

Le scelte del progetto definitivo sono sostanzialmente basate su di un’analisi dei possibili scenari di evoluzione del movimento franoso e sulle corrispondenti entità delle masse di materiali che avrebbero potuto accumularsi nel fondovalle. Lo scenario più gravoso prevedeva una imponente mobilitazione delle masse di frana con occlusione parziale del corso d’acqua ed un accumulo di terreno fino a 7 m rispetto alla superficie originaria, previsione che gli scriventi ritengono peraltro molto conservativa.

Di conseguenza, scaturì la decisione di spostare il tracciato sul versante destro, al di fuori della zona di frana e delle aree che potenzialmente potevano essere interessate da una evoluzione della frana nello schema di scenario più pessimistico.

Il tracciato in variante ha una lunghezza di circa 915 m e può essere suddiviso in tre tratti: un primo tratto in viadotto (Ingotte I) della lunghezza di 230 m, che attraversa il corso d’acqua, seguito da un tratto a mezza costa sul versante destro, della lunghezza di 350 m; infine un viadotto (Ingotte II) lungo 195 m, che consente il secondo attraversamento del torrente, lo spostamento sul versante sinistro (a valle della frana) e il riallaccio all’asse stradale originario.



3. La simulazione dell’evoluzione della colata di frana

I due viadotti, costituiti entrambi da una travata continua su quattro campate, erano stati previsti con impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo, costituito da ben cinque travi in acciaio “corten” di altezza variabile da 1 m a 3 m poste ad interasse costante pari a 3 m circa, per una larghezza complessiva dell’impalcato di 15,85 m, predisposto per ospitare tre corsie di marcia da 3,75 m e due banchine da 1,5 m. Le pile erano previste di tipo a setto, su fondazioni realizzate con 15 pali del diametro di 1.200 mm per ciascuna pila.

Le condizioni morfologiche di questa area sono mostrate nelle due foto seguenti, dove si illustra la situazione prima dell’esecuzione dei lavori (con il vecchio viadotto Ingotte demolito in corrispondenza della frana) e il nuovo tracciato stradale in variante, con i due nuovi viadotti Ingotte I e II.



4. Una panoramica della colata di frana con il vecchio viadotto Ingotte demolito



5. Una panoramica del nuovo tracciato stradale dopo l'esecuzione dei lavori

Il progetto esecutivo: varianti stradali e geotecniche

Vista la necessità di apportare alcune correzioni al tracciato stradale, per renderlo rispondente alla normativa, è stata studiata una variante plano-altimetrica per ridurre i profondi sbancamenti (di altezza fino a 30 m) previsti sul versante destro, da realizzare nelle stesse argille varicolori coinvolte nella frana principale e in parte già interessate da dissesti.

Questa variante, anche lieve se riferita all'andamento generale del tracciato, ha permesso di ridurre notevolmente l'altezza degli scavi, mantenendo comunque l'impostazione progettuale di un tracciato spostato sul versante destro del torrente Ingotte. Per migliorare ulteriormente l'inserimento del tracciato, oltre agli interventi già previsti nel progetto definitivo (gabbionate, trincee drenanti), si è provveduto a inserire numerose altre soluzioni costruttive che hanno riguardato:

- ◆ la pendenza e la protezione delle scarpate dall'erosione;
- ◆ il sostegno degli scavi e delle opere di sottoscampa con paratie di pali;
- ◆ le interferenze con le acque di versante.

Particolarmente significativo è stato il miglioramento introdotto per la stabilità del versante, dove si erano manifestati, già nelle prime fasi di lavoro, fenomeni di instabilità corticali legati alla forte imbibizione dei terreni, che potevano far presupporre l'attivazione di dissesti più importanti a seguito della realizzazione degli scavi. La gabbionata prevista al piede delle scarpate, che avrebbe necessitato comunque di una fase transitoria con scavi non sostenuti, è stata sostituita con una paratia di pali di grande diametro. La realizzazione preventiva di questi interventi di sostegno, associati al drenaggio con micro-dreni, ha permesso di procedere con gli scavi in maniera molto controllata, attivando fin da subito le opere di consolidamento delle scarpate. L'inserimento delle paratie al piede degli scavi ha permesso anche di ridurre la pendenza complessiva delle scarpate e di introdurre delle banche intermedie in modo da evitare la formazione di superfici di scavo molto estese (originariamente fino a 40 m), controllando il deflusso selvaggio delle acque.



6. Le gabbionate di sottoscampa del corpo stradale

E' stato inoltre migliorato il sistema di protezione dall'erosione inserendo una geostuoia rinforzata con lo scopo di accelerare i processi di rinverdimento e proteggendo i terreni dall'erosione fin dalle prima fasi.

Nelle zone di attraversamento dei compluvi sono stati inseriti due tombini idraulici dalla luce ampia, in modo da razionalizzare e facilitare il deflusso delle acque di versante. In queste stesse zone di compluvio, dove è maggiore lo spessore delle coltri di terreno soggette a forte imbibizione, sono state inserite delle paratie di pali al piede delle gabbionate di sottoscampa, con lo scopo di aumentare la stabilità del complesso terreno/corpo stradale nei riguardi di potenziali superfici di scorri-



7. L'attraversamento di compluvi: paratie di monte, tombino idraulico e gabbionate di sottoscampa



mento passanti al di sotto del rilevato stradale. In questi stessi tratti sono state inserite paratie di pali anche a monte della strada per la difesa dei profondi scavi di bonifica previsti al piede dei rilevati, i quali avrebbero potuto provocare l'innesco di fenomeni di instabilità di terreni molto rimaneggiati e già interessati da movimenti di pendio.

L'intervento di protezione dei pendii è stato poi completato con opere di canalizzazione e regimentazione delle acque di dilavamento e con un complesso sistema di trincee drenanti che ha interessato l'intero tratto di versante attraversato dalla strada, ed esteso fino ad alcune centinaia di metri a monte, in modo da racchiudere tutte le aree potenzialmente instabili. Le trincee drenanti sono state realizzate con la classica disposizione a "spina di pesce" in modo da interessare i versanti con i rami che convergono verso le aree di compluvio, dove sono state eseguite le aste principali.



8. Trincee drenanti sul pendio e sistema di canalizzazioni per la regimentazione delle acque



9. Il versante destro del vallone al termine degli interventi di protezione

I viadotti Ingotte I ed Ingotte II

I due viadotti si caratterizzano per una piattaforma piuttosto ampia, dovuta alla presenza di una corsia di arrampicamento in direzione Campobasso.

Considerato che le luci hanno ampiezza variabile tra i 40 e i 70 m, si è deciso di adottare una sezione a tre travi poste ad interasse di 5,25 m. Dato che l'altezza delle pile è compresa tra 4 ed 17 m, si è ritenuto antiestetico, e soprattutto poco efficiente, l'utilizzo di un pulvino di larghezza tale da ospitare le tre travi. D'altro canto è stata scartata l'ipotesi di realizzare delle pile a setto, sia perché queste sulle altezze maggiori sarebbero state eccessivamente onerose e visivamente impattanti, sia perché avrebbero richiesto di essere isolate per contenere le sollecitazioni sismiche in fondazione.



10. Il viadotto Ingotte I in costruzione

In definitiva, si è optato per delle pile realizzate con tre fusti a sezione ellittica di dimensioni 1,50x2,25 m collegate in sommità da un trasverso. Questi fusti sono stati dimensionati in modo da evitare l'isolamento nel caso del viadotto con le pile più alte per le quali flessibilità e duttilità sono sufficienti ad assorbire le forze sismiche. Per il viadotto più basso (Ingotte II) si è invece dovuto ricorrere all'isolamento secondo lo schema riportato in Figura 12. Da notare come la sezione ellittica piena rappresenti la soluzione ottimale per i fusti pila in zona sismica in quanto permette di trovare il giusto rapporto di rigidità/snellezza nelle due direzioni permettendo al contempo un confinamento molto efficace del calcestruzzo. Il coronamento con un trasverso fornisce ulteriore duttilità con un meccanismo a "trave debole", realizzando di fatto un punto di appoggio per i successivi interventi manutentivi. L'impalcato è realizzato a struttura mista con travi in acciaio autopatinante tipo SJ355W con altezza compresa tra 1,8 e 2,8 m. I diaframmi di testa pila ed i trasversi correnti di campata hanno sezione saldata a doppio T con anima piena.

Si è deciso di impostare le fondazioni su pali di grande diametro in quanto i terreni presenti nei primi strati sono dotati di modeste caratteristiche meccaniche e di elevata deformabilità. Per tutti gli appoggi dei due viadotti sono stati utilizzati pali di fondazione del diametro di 1.500 mm di lunghezza variabile tra 20 e 34 m ed in numero variabile, per fondazione, tra 5 e 9, in sostituzione di quelli previsti nel Progetto Definitivo di diametro pari a 1.200 mm ed in numero pari a 15 per ogni fondazione.

La scelta di aumentare il diametro dei pali da 1.200 mm a 1.500 mm, riducendone drasticamente il numero, è dovuto al fatto di aver contenuto le forze di inerzia sismiche grazie alle pile flessibili, realizzando quindi plinti più piccoli, con minori inerzie flessionali ma di capacità portante ed a taglio più che soddisfacente.

La scelta di aumentare il diametro dei pali da 1.200 mm a 1.500 mm, riducendone drasticamente il numero, è dovuto al fatto di aver contenuto le forze di inerzia sismiche grazie alle pile flessibili, realizzando quindi plinti più piccoli, con minori inerzie flessionali ma di capacità portante ed a taglio più che soddisfacente.

Avendo scelto una configurazione a tre travi con pile a telaio è stato possibile ottimizzare la spaziatura trasversale delle travi in modo da contenere le sollecitazioni in soletta ed ottenere contestualmente una buona ripartizione trasversale delle sollecitazioni. Il comportamento torsionale di questi impalcanti privi di controventatura torsionale dipende infatti dalla spaziatura trasversale delle travi e dallo schema vincolare longitudinale (si veda "S&A" n° 78). Impalcanti continui con un rapporto tra la larghezza della sezione carrabile e l'interasse delle travi pari a circa 1,4 hanno un'ottima ripartizione dei carichi trasversali ed una rigidità torsionale molto prossima a quella che si otterrebbe adottando una controventatura torsionale orizzontale all'intradosso dell'impalcato, la quale comporta però delle onerose lavorazioni aggiuntive ed un disturbo non trascurabile allo stato tensionale nelle piattabande inferiori delle travi principali.

L'azione sismica di progetto per tali viadotti corrisponde ad una PGA di 0,44 g e 0,18 g rispettivamente con probabilità di superamento del 10% e 63% rispetto alla vita di riferimento dell'opera, posta per legge, in questi casi, pari a 200 anni. I principali dati che caratterizzano la risposta sismica dei due viadotti sono riportati nelle Figure 14 e 15. Nel caso del viadotto Ingotte I, il posizionamento del vincolo fisso sulla pila più alta (n° 2) permette di ottenere dei periodi di vibrazione superiori ai 2 secondi, il che riduce notevolmente

l'azione sismica, (l'accelerazione associata a tale periodo è pari a 0,21 g). La configurazione geometrica della pila inoltre, grazie alla snellezza appositamente calibrata, dispone di una duttilità ($\mu > 4$), che tuttavia viene utilizzata solo parzialmente in condizione di sisma severo e per nulla, rimanendo in campo elastico, in condizioni di sisma frequente (Figura 15). Per il viadotto Ingotte II, essendo le pile molto basse, a meno di non utilizzare sistemi di accoppiamento oleodinamici, si poteva disporre di un solo allineamento fisso in direzione longitudinale. Su tale allineamento è stato ovviamente necessario predisporre dei ritegni elasto-plastici per contenere le forze massime che l'intero impalcato avrebbe altrimenti trasferito su questa pila (Figura 13).

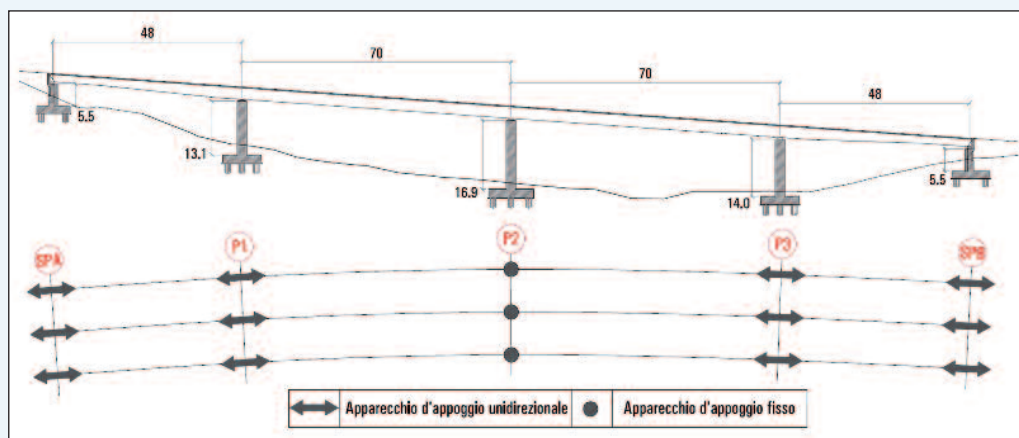
Disponendo peraltro di una buona resistenza in considerazione della modesta altezza dei fusti pila, si è optato per una forza massima nei ritegni abbastanza elevata in modo da contenere le escursione degli stessi in caso di sisma. Per quanto però si sia aumentata tale forza, questi ritegni, sulla base della vigente normativa antisismica si plasticizzano per terremoti con $PGA \geq 0,13$ ovvero, considerata la sismicità dell'area, per terremoti con periodi di ritorno superiori a circa 60 anni.

In definitiva, per il viadotto Ingotte II si ammette la possibilità di plasticizzazione dei ritegni sismici anche per terremoti con periodo di ritorno relativamente contenuto. Quindi per questo viadotto è previsto che si possa rendere necessario intervenire nel

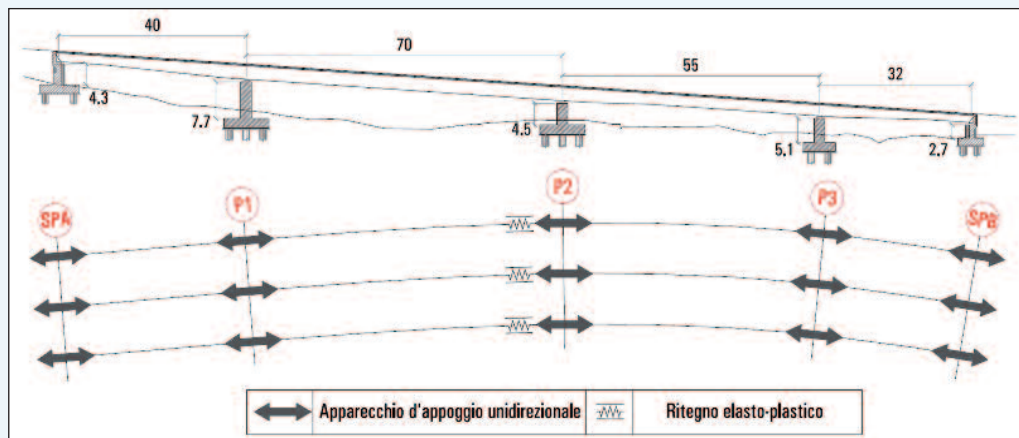
corso della vita utile a seguito di evento sismico.

Cosa sarà necessario fare? Potrebbe rendersi necessaria la sostituzione dei giunti e l'eventuale ricentraggio della struttura. La sostituzione dei giunti è oggi un problema molto diffuso sulla rete stradale ed autostradale italiana e certo l'incidenza degli eventi sismici è risibile rispetto alla causa principale di rottura dovuta al fortissimo aumento di frequenza ed energia dei mezzi pesanti. Il ricentraggio in direzione longitudinale è anch'esso più teorico che pratico. Anche in presenza di spostamenti residui in direzione longitudinale, questi non costituirebbero un problema per il funzionamento del viadotto.

Volendo poi ricentrare, basta interporre un martinetto tra spalla ed impalcato per ottenere facilmente la reazione necessaria al ricentraggio, similmente a quanto si fa per il varo a spinta di questi viadotti. Con l'occasione si può anche verificare l'effettiva funzionalità degli appoggi scorrevoli.



11. Il profilo e lo schema degli appoggi del viadotto Ingotte I



12. Il profilo e lo schema degli appoggi del viadotto Ingotte II



13. Un dettaglio della pila del viadotto Ingotte II con i riteggi sismici integrati con gli appoggi

Pila	H (m)	δ_y (mm)	PGA _{63%} = 0,18 g		PGA _{10%} = 0,44 g	
			$\delta_{63\%,PILA}$ (mm)	$\delta_{10\%,PILA}$ (mm)	$\delta_{10\%IMPALC}$ (mm)	
2	16,9	145	110	220	220	
Ingotte I						
2	4,5	10	5	5	120	
Ingotte II						

15. La risposta sismica longitudinale dei viadotti S.S.647 "Fondovalle del Biferno"

Conclusioni

Per quanto riguarda l'inserimento territoriale della nuova infrastruttura:

- la scelta del tracciato di variante è stata molto dibattuta: sono state valutate ipotesi che prevedevano lo scavalco con un'unica luce del corpo di frana mantenendo l'originario tracciato e quella, poi prescelta, di un tracciato spostato sul versante opposto a quello della frana. Anche questo versante, tuttavia, presenta le stesse conformazioni geomorfologiche del versante in frana, con la stessa predisposizione al dissesto; ciò ha comportato la necessità di numerosi accorgimenti per migliorare l'inserimento dell'infrastruttura in un contesto geomorfologicamente complesso e in continua evoluzione. La soluzione prescelta mantiene quindi un certo grado di rischio con la conseguente necessità di monitoraggio e manutenzione del versante e delle nuove infrastrutture.

Per quanto riguarda la progettazione strutturale:

- nella progettazione di nuove strutture, un corretto dimensionamento dei fusti pila riduce di molto la necessità di isolamento sismico sfruttando flessibilità e duttilità delle sottostrutture, soprattutto in campo stradale, dove non è necessario ottemperare a criteri di rigidità imposti dalla presenza della rotaia.

Modo	Direzione	Periodo (s)	Frequenza (Hz)
1	Longitudinale	2,08	0,48
2	Trasversale	0,78	1,28
Ingotte I			
1	Longitudinale	1,52*	0,66*
2	Trasversale	0,21	4,83
Ingotte II			

14. La risposta modale dei viadotti S.S.647 "Fondovalle del Biferno"

* Periodo isolato che tiene conto della cedevolezza elastica del ritegno elastoplastico

L'utilizzo di sottostrutture flessibili comporta una sostanziale riduzione del costo delle fondazioni;

- in direzione longitudinale all'asse dei viadotti, la presenza di appoggi mobili migliora sensibilmente la risposta sismica dell'opera

riducendone in maniera drastica gli spostamenti massimi. Questo permette di evitare l'adozione di dispositivi antisismici in questa direzione, anche nel caso di impalcati di grande lunghezza, oggi molto diffusi ed apprezzati per la mancanza di giunti;

- l'utilizzo di sistemi di isolamento di tipo elasto-plastico garantisce ottimi risultati con macchine semplici, economiche che richiedono bassa manutenzione.

* Professore dell'Università di Pescara

** Ingegnere Geologo di Integra Srl

*** Ingegnere di Integra Srl

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori desiderano ringraziare per la fattiva collaborazione il Personale dell'ANAS che si è succeduto durante l'intera procedura esecutiva e i Capi Compartimento Ing. Fabio Arcoleo, Ing. Valter Bortolan, Ing. Roberto Giannetti; inoltre, i Responsabili del Procedimento Ing. Giuseppe Ferrara, Ing. Nicola Picariello, il Direttore dei Lavori Ing. Teodoro Nardelli e il Collaudatore Ing. Antonio Scalamandrè.

- 100 VOLTE "STRADE & AUTOSTRAD" -

Conosco Claudio Capocelli all'incirca dal 1980 e, lavorando tutti e due nell'ambito dell'industria delle costruzioni, non fu faticoso scoprire alla fine degli anni Novanta il fatidico n° 1 di "Strade & Autostrade", certamente meno robusto di quanto lo sia oggi, ma indubbiamente ben intradato verso un futuro più radioso di quanto lo si poteva immaginare. Non amo dare giudizi o consensi a una rivista del settore e in particolare modo di questi tempi.

Se "S&A" ha un suo ruolo importante nella letteratura delle costruzioni, se i suoi articoli, i suoi speciali e gli approfondimenti portano un vero

contributo comunicativo al settore a cui la rivista si riferisce, la risposta sta in questi 100 numeri che hanno brillato e brillano ancora sotto le rotative, incuranti di una crisi unica e globale che ha investito tutti.

Non so se vedrò il prossimo traguardo del n° 200, ma so che ci sarà, perché chi ha attraversato queste recenti tempeste sa e può andare oltre. Complimenti e auguri a Claudio e a Marina.

Medeo Olivares,

Sales Promotion Manager della Controls Srl