

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA
 QUINTO CONVEGNO DI GEOTECNICA

Palermo, Marzo 1961

SULLO STATO DELLE INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE
 RELATIVE AL COLLEGAMENTO DELLA SICILIA ALLA CALABRIA^(*)

F. PENTA (**)

SOMMARIO: Si riferisce sul problema geologico-tecnico dell'attraversamento dello stretto di Messina che presenta eccezionali difficoltà in dipendenza del pronunziato carattere sismico della regione.

Si ricorda che indagini, ricerche e studi erano e sono stati eseguiti allo scopo di stabilire i presupposti indispensabili per la scelta del sistema più idoneo a collegare la Sicilia al continente con un'opera permanente e transitabile da veicoli di ogni sorta.

Le soluzioni ancora in esame sono quelle di un ponte del tipo più adatto, di una galleria appoggiata sul fondo, di una diga a scogliera (istmo) e di una galleria da scavare al disotto del fondo dello Stretto alla profondità rispondente allo scopo.

L'attraversamento aereo con cavi elettrici fu realizzato nel 1952-55 sulla base dei risultati di serie indagini, prove e ricerche, molte delle quali furono suggerite (a partire dal 1950) specialmente dalla considerazione dei terremoti e dei maremoti ben conosciuti nella località.

Si riferisce sullo stato delle conoscenze raggiunto posteriormente, grazie particolarmente alle indagini promosse dalla Regione Siciliana ed egregiamente condotte dai geologi e geofisici incaricati.

Si comunicano i risultati degli studi eseguiti e le conclusioni tratte anche dall'esperienza diretta e personalmente acquisita delle particolari caratteristiche geologico-tecniche dei terreni calabro-siculi.

Sono esposti, quindi, i termini nei quali è stato impostato e prospettato il problema; si accenna ai programmi di indagini, di prove e di osservazioni redatti per una Commissione Regionale Siciliana e, poi, per una Commissione Ministeriale.

I programmi, per buona parte in corso di sviluppo, mirano a concretizzare un quadro obiettivo dell'ambiente naturale nel quale ricadrà l'opera che in conseguenza sarà scelta per il collegamento.

Vi era stata preannunciata la relazione del Prof. Attilio ARCANGELI dal titolo: «*Fondazioni del ponte sullo Stretto di Messina*». Arcangeli per ragioni di salute non ha potuto preparare la sua relazione né può partecipare al nostro Convegno; auguriamo, intanto, all'illustre e caro Collega pronta e completa guarigione.

Con la consueta, affettuosa, bonaria, dolce violenza i miei carissimi amici COLUMBA, RUSSO SPENA, CROCE e JAPPELLI, avvalendosi finanche dell'autorità dell'Assessorato della Regione, mi hanno imposto in extremis di riferire sullo stato degli studi relativi al collegamento della Sicilia con la Calabria mediante un'opera fissa e più specificatamente mediante un ponte.

Non vorrei che si risentisse troppo della tardiva, improvvisata e «non omogenea» sostituzione. In cambio della vostra benevolenza, oltre che alle fondazioni del ponte, accennerò anche alla impostazione più generale del problema nel quale quello del ponte deve trovare razionale inquadramento. Il tema però è di difficile e scabrosa trattazione e per fattori umani e per fatti naturali; cercherò di essere quanto più obiettivo nell'esporre le conoscenze che si possiedono in proposito e con ancora maggiore difficoltà cercherò di cadere nel minore numero possibile di gaffes.

(*) Riassunto della Relazione svolta dal Prof. Ing. Francesco PENTA in occasione del V Convegno di Geotecnica tenuto a Palermo il 28 marzo 1961.

(**) Dott. Ing. Prof. Francesco PENTA, Direttore dell'Istituto di Geologia Applicata dell'Università di Roma.

Da oltre un decennio ho dovuto occuparmi dell'aspetto geologico-tecnico del problema dell'attraversamento dello Stretto di Messina, problema che presenta eccezionali incognite in dipendenza del pronunziato carattere sismico della regione.

In un secondo tempo ho avuto la collaborazione di Franco CAPOZZA col quale abbiamo redatto una nota sintetica che fu comunicata l'11 febbraio scorso alla Accademia dei Lincei⁽¹⁾. Non si è fatto in tempo ad avere gli estratti per distribuirli nella presente riunione.

Varie indagini e ricerche ed alcuni studi sono stati eseguiti per stabilire i presupposti indispensabili per la scelta razionale del sistema più idoneo a collegare la Sicilia al continente con un'opera permanente e transitabile da veicoli di ogni sorta. Le soluzioni in esame sono quelle di un ponte del tipo più idoneo, di dighe o di scogliere riunite da un ponte, di una galleria poggiata sul fondo e di una galleria da scavare al disotto del fondo dello Stretto alla profondità rispondente allo scopo.

L'attraversamento aereo con cavi elettrici fu deciso nel 1952 e realizzato nel periodo 52-55 sulla base dei risultati di varie indagini, prove e ricerche, alcune delle quali furono suggerite da chi vi parla a partire dal 1950 in considerazione, specialmente, dei terremoti e dei maremoti della località.

Tale sistema si accettò senza attendere, per mancanza del tempo e dei mezzi necessari, un basato ed

(1) Rend. Cl. Sc. Fis., Mat. e Nat. dell'Acc. Naz. d. Lincei; S. VIII, 30, fasc. 2, pp. 155-62, Roma, 1961.

esauriente confronto con l'altro sistema: quello della galleria profonda sul quale, anche, si era appuntata l'attenzione di alcuni tecnici. L'opera però, così come fu, infine, progettata ed approvata, offriva la massima garanzia compatibile con lo *habitus* sismico della regione.

Per ora ha risposto bene al terremoto di pochi giorni fa (2). Ciò è di conforto; è dimostrato, così, che gli accorgimenti presi in considerazione del carattere sismico della zona sono stati sufficienti a rendere l'opera insensibile a terremoti dell'entità di quello verificatosi (3).

Programma della relazione.

Riferisco ora qui sinteticamente sullo stato delle conoscenze raggiunte posteriormente grazie, specialmente, alle indagini promosse dalla Regione Siciliana ed egregiamente condotte dai geologi e geofisici incaricati; comunico i risultati degli studi eseguiti e le conclusioni tratte anche dall'esperienza diretta e personalmente acquisita delle particolari caratteristiche geologico-tecniche dei terreni calabro-siculi.

Espongo quindi i termini nei quali è stato impostato e prospettato il problema: accenno ai programmi di indagini, di prove, di osservazioni redatti per la Commissione Regionale Siciliana e per la Commissione Ministeriale di cui ho avuto anche l'onore di fare parte.

Questo programma, per buona parte in avanzato corso di sviluppo, mira a concretizzare un quadro obiettivo dell'ambiente naturale nel quale ricadrà la opera che, di conseguenza, sarà prescelta per il collegamento.

L'opera svolta dalla Regione.

Debbo qui dichiarare lealmente che è raro rilevare tanta lungimiranza, tanta serietà di intenti e di esecuzione e tanta competenza quanto quelle dimostrate con i fatti dalla Regione Siciliana nell'impostare e nel condurre i lavori miranti a fornire tempestivamente il quadro esatto dell'ambiente nel quale dovrà trovare sede l'opera di collegamento.

Precedenti studi.

Vi risparmio il richiamo di tutte le idee lanciate nei tempi passati a cominciare dal 1880 o quasi, quando, mancando addirittura ancora il rilievo geo-

logico della regione, si proponevano progetti, sistemi di attraversamenti ecc. basati su pure ipotesi relative alla struttura del sottosuolo dello Stretto ed alla sua geodinamica attuale.

Per questo argomento si può consultare il volume che fu pubblicato e distribuito in occasione dell'inaugurazione dell'attraversamento elettrico (4), alle bibliografie raccolte a cura del Prof. A. ARCANGELI per conto della Commissione di Studio Regionale e dalla Commissione Ministeriale ed alla nota, già citata, di chi vi parla con la collaborazione di CAPOZZA.

Sondaggi del 1942.

In un secondo tempo o, meglio, il primo atto concreto inteso ad accertare direttamente la natura dei terreni presenti nella profondità delle due sponde dello Stretto fu compiuto dall'AAS, oggi ANAS; che, in occasione dello studio di una camionabile sottomarina, fece eseguire alcuni sondaggi profondi (5) in prossimità di Ganzirri e di Punta Pezzo. Adopero il termine profondo col significato relativo all'ingegneria civile; questi sondaggi, che nel campo dell'ingegneria civile sono profondi, diventano superficiali, di primo assaggio, per i petrolieri.

Sulla costa sicula furono eseguiti tre sondaggi nei pressi di Ganzirri, della profondità rispettivamente di 77 m, di 96 m e di 230 m. Questi sondaggi attraversarono esclusivamente rocce sedimentarie, prevalentemente « *sciolte* » (non lapidee).

Il sondaggio eseguito negli ultimi tempi e del quale darò appresso qualche breve notizia, ha confermato nelle grandi linee questi risultati, ma ha raccolto dati nuovi ed importanti dal punto di vista tecnico.

Sulla costa calabra furono eseguiti due sondaggi, uno di 201 m e l'altro di 304 m. Con questi sondaggi si riconobbe una certa successione di terreni; ma, dato il sistema e forse dato anche lo scopo che allora ci si proponeva, restarono dei dubbi interpretativi specialmente in merito alla esistenza o meno e alla natura di alcuni terreni sciolti sedimentari al di sotto di determinate profondità. Il sondaggio eseguito in questi ultimi giorni ha confermato la legittimità dei dubbi e ha fornito una basata ricostruzione di quel sottosuolo. Con i sondaggi del 1942, specialmente in costa calabra, si raccolsero anche delle notizie relative alle acque sotterranee. Il sondaggio ultimo ha confermato anche l'esistenza di distinte acque nel sottosuolo; differenti sono risultate le quote di risalienza delle acque in pressione.

Sondaggi ed assaggi del 1950.

Un decennio fa furono eseguiti dei sondaggi e degli scavi di assaggio sulle due sponde per la fondazione delle due torri del collegamento elettrico; le notizie raccolte sulla sponda sicula si riferiscono a profondità relativamente limitate rispetto a quelle che sarebbero interessate anche nel caso del ponte (6).

(4) SOCIETA' GENERALE ELETTRICA DELLA SICILIA - *L'attraversamento elettrico dello Stretto di Messina* - Ed. Libreria Dedalo; Roma, 1958.

(5) Nel 1942. Per maggiori dettagli su questi sondaggi vedi in PENTA e CAPOZZA (1961, op. cit.).

(6) CROCE A., op. inedita, per cui vedi nota 4.

(2) Il 24 marzo (1961) alle ore 11 e 37 circa a Messina vi fu una scossa di magnitudo $\infty 4$, con sviluppo di energia di 10^{20} erg e che fu apprezzata localmente di grado VII della scala Mercalli; una replica di intensità molto minore si registrò verso le ore 13 e minuti 8. Queste notizie le ha gentilmente fornite il Prof. Mario DE PANFILIS, dell'Istituto Nazionale Geofisico, che vivamente ringrazio.

Purtroppo, ancora non funzionavano (né funzionano) le stazioni sismiche destinate alle osservazioni di dettaglio sulle due sponde e delle quali si dirà appresso.

(3) Si riferisce qui sulla base soltanto della constatazione che né il personale addetto, né i locali notarono anomalie nelle due torri durante il terremoto. Per l'avvenire sarebbe, però, consigliabile predisporre apparecchiature idonee alla registrazione automatica e continua degli effetti sismici, sulle due torri e sul funzionamento degli organi di sicurezza già previsti (tamburi e tenditori dei cavi ecc.) e relativa strumentazione di controllo analogamente a quanto si effettua per le grandi dighe.

Sulla costa calabra, invece di sondaggi, furono eseguiti degli scavi di accesso diretto i quali dimostrarono la reale situazione di quei terreni che la carta geologica segnala giustamente come rocce cristalline (7); questi terreni sono, in effetti, delle rocce originariamente cristalline; ma in seguito queste furono ridotte allo stato cataclastico. Su questo stato ebbi agio di richiamare la vostra attenzione due anni fa nella mia relazione sulle frane che tenni a Padova in occasione del precedente nostro Convegno (8).

Intervento del Governo Regionale Siciliano.

Nel 1955, in seguito ad un Convegno e a proposte varie in merito alla costruzione di un ponte, e specialmente di un ponte sospeso, la Regione Siciliana promosse una serie di indagini miranti ad accertare per via diretta la possibilità del collegamento con un ponte sospeso. La campagna delle indagini fu affidata alla Ditta Lerici, specializzata in ricerche geofisiche, che si fece assistere per la parte geologica dal Dr. Ing. Enzo Beneo, Direttore del Servizio Geologico d'Italia, il quale, si avvalse, a sua volta, dell'aiuto dei suoi collaboratori.

Furono rilevate direttamente 9 tavolette al 25.000, furono eseguite le sezioni relative, fu studiata la stratigrafia della Regione, nella quale il problema trova la sua sede, furono studiati anche altri problemi geologici, cioè quelli riguardanti le faglie, la loro ubicazione ed il loro orientamento o, per meglio dire, furono rilevati i sistemi, le famiglie di faglie, la loro direzione e giacitura e la loro età. Si addivenne, così, al riconoscimento di tre distinti sistemi di faglie, che possono spiegare vari fenomeni, fra cui, perlomeno parzialmente, anche gli effetti sismici superficiali della località.

Fu eseguito anche il rilievo geofisico: geosismico e geoelettrico.

Da questi rilievi, d'accordo con i geologi, furono tratte delle ricostruzioni, dichiaratamente approssimate e provvisorie, del sottosuolo delle sponde emergenti dal mare e dello stretto.

Alla chiusura di questa prima fase di prospezione, i geofisici proposero, anzi richiesero l'esecuzione di due sondaggi necessari per la « taratura » dei dati raccolti, agli effetti della loro interpretazione e delle previsioni geologiche; uno degli scopi principali dei due sondaggi è stato dunque quello di meglio basare e di affinare le ricostruzioni deducibili dalle indagini geofisiche.

Come si dirà, con tali sondaggi, indispensabili per il completamento della prospezione geofisica, si sono effettuate anche altre ricerche necessarie alla migliore e diretta conoscenza geologica ed idrogeologica del sottosuolo delle due sponde.

Le due relazioni provvisorie, preliminari sui due sondaggi sono qui: come ho detto, esse sono da considerare ancora provvisorie perché sono ancora da elaborare i dati bruti. I geofisici, utilizzando i dati rielaborati, potranno procedere alla revisione del lavoro già effettuato e, quindi, prospettare una più

basata ed esauriente ricostruzione del sottosuolo che interessa il problema.

Per quanto riguarda il rilievo geologico, di cui vi ho fatto vedere le 9 tavolette al 25.000 vi posso dire che i risultati del rilievo geologico completo sono in corso di stampa; sono in corso di stampa anche le carte geologiche riguardanti il territorio fra Capo Spartivento e Capo Vaticano, in Calabria, e fra Taormina e Milazzo in Sicilia.

Ho qui le bozze di stampa della relazione geologica che le accompagna.

Posso anche comunicare che l'Assessorato ai Lavori Pubblici, che cura questa pubblicazione, ha promesso che, non appena sarà completata la stampa di questo studio geologico, ne offrirà copie in omaggio a coloro i quali hanno partecipato a questa nostra riunione.

Intanto sotto la direzione del Prof. Arcangeli l'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze ha preparato una raccolta ragionata della bibliografia sullo Stretto; ne esistono diverse copie di questa che vi mostro; non so se sarà questa l'edizione definitiva da stampare o se dovrà essere ancora aggiornata prima che sia stampata e distribuita a cura, sempre, della Regione.

Perforazioni profonde con relative indagini, prove e misure eseguite nel gennaio-marzo 1961 per conto della Regione Siciliana (9).

Il programma esecutivo di questi sondaggi prevedeva il prelevamento di carote di fondo, sistematico (ogni 30 metri), e, a richiesta, ogni qualvolta se ne manifestasse l'opportunità.

Era prevista inoltre l'esecuzione di misure geofisiche in pozzo, quali carotaggio sismico, carotaggio elettrico, microlog, laterolog, termometria ecc.

L'insieme degli esami e delle operazioni rese possibili dall'esecuzione dei due sondaggi mirava a consentire accertamenti di natura petrografica e paleontologica e indicazioni sulla porosità, permeabilità e « moduli di elasticità » dei terreni attraversati, l'osservazione dei livelli statici delle varie falde acquifere incontrate e delle loro caratteristiche, nonché una « taratura » dei risultati delle indagini geofisiche già effettuate in superficie.

Tutto ciò che si era previsto è stato realizzato.

Risultati dei sondaggi e delle relative prove ed indagini.

Esponiamo (10) qui in breve i risultati ottenuti nel seguente ordine: A) sponda sicula (terreni, acque, nuove acquisizioni); B) sponda calabra (terreni, acque, nuove acquisizioni); C) ricostruzione generale del sottosuolo della località.

(9) I sondaggi sono stati eseguiti dall'AGIP Mineraria, sotto la direzione e l'assistenza geologico-tecnica della Soc. CEMINA (Prof. Ing. F. FALINI, Prof. Ing. B. CONFORTO, Dr. Ing. M. SAPPÀ, Dr. S. CARBONI). Le indagini geofisiche sono state effettuate dalla Schlumberger e dalla Lerici.

(10) In questa esposizione si tiene conto anche dei primi risultati dell'elaborazione e di qualche determinazione effettuata posteriormente alla data della comunicazione (28 marzo c.a.) e che sostanzialmente confermano quanto allora fu detto in forma provvisoria e con molte riserve (Nota aggiunta dall'A. nel luglio 1961).

(7) IPPOLITO F. Rend. Cl. Sc. Fis. Mat. e Nat. dell'Acc. Naz. d. Lincei; s. VIII, 8, fasc. 1; 1950.

(8) PENTA F. Geotecnica, 6, pp. 181-229; 1959.

Sulla sponda sicula, nella spiaggia di Ganzirri, il sondaggio è arrivato fino a 602 metri.

I primi 400 metri circa (392) sono costituiti dai sedimenti, i quali vanno dai terreni schiettamente sciolti, di dominio dei geotecnici, a formazioni che non possiamo più dire senz'altro sciolte e che, per una discreta parte sono dei terreni marnosi riferibili con molta verosimiglianza ai cosiddetti « trubi » ben noti in Sicilia e Calabria. La presenza di questi trubi agli effetti idrogeologici nei sottostanti terreni (da circa 380 in giù) è indubbiamente importante.

Al disotto di 392 metri di profondità si entra nel cristallino. In questo cristallino si è rimasti da 430 metri a 602 metri. Dico, genericamente, cristallino, perché, a causa della cataclasi, in queste regioni la distinzione fra rocce metamorfiche, graniti e rocce granitoidi, agli effetti tecnici può talora anche non avere molta importanza. Questa formazione cristallina fino a poco più di 600 metri di profondità difatti, non si presenta integra, ma è sempre cataclaszata (11) e più o meno profondamente alterata.

Che ancora a 600 e più metri di profondità continui lo stato frammentario a chi ha lavorato in Calabria negli impianti ultimi (specialmente del Mucone a Cecita con relativa centrale) non riesce né strano né nuovo: negli impianti del Mucone, a circa 500 metri di profondità e circa 1 kilometro di distanza orizzontale dalla superficie, il materiale della centrale in caverna risultò ancora allo stato pronunziatamente cataclastico (12).

Nonostante questo stato frammentario, andare oltre 600 metri non è sembrato necessario: non interessano, infatti, le maggiori profondità né il problema diretto dell'attraversamento (galleria, corpo di terreno interessato dalle fondazioni di qualsiasi opera fuori terra), né quello della assunzione dei dati geofisici esatti necessari per la prospezione spinta a profondità utile (alcune centinaia di metri) al disotto della nota « soglia » dello stretto.

Per quanto riguarda acque, si può ritenere come dato di fatto che nei sedimenti per lo più vi è permeabilità, vi sono acque salate e queste, soltanto nella parte superiore (cioè al disopra della formazione dei trubi) hanno la salinità del mare.

Al disotto si trovano altre acque forse anche distinte fra di loro, le quali pur essendo salate, non possono più interpretarsi come semplici, pure acque marine.

Nella formazione dei trubi la permeabilità è molto bassa ed in essa le acque non si sono trovate, per lo meno in quantità apprezzabili.

Al disotto ed anche nella formazione cristallina si riscontra un certo grado di permeabilità e si rinvencono delle acque salmastre zampillanti (fino a ~ 2,5 m sul l. m. m.), ma poco abbondanti.

Non è il caso di indagare ora sulle origini più

(11) Ricordo che con questo termine si indica lo stato frammentario dovuto a sollecitazioni meccaniche dei tempi passati (di « origine tettonica ») su grandi masse di rocce lapidee e che nulla ha da vedere, fra l'altro, con l'alterazione superficiale di cui può essere causa concomitante, ma non effetto.

(12) Ma non ossidato: le miche muscovitiche, p. es., erano ancora di tenue colore verde molto pallido.

verosimili di queste acque salate, caratterizzate da grado e tipo di salinità diversi da quelli delle acque del mare attuale e delle falde sotterranee sovrastanti.

Le determinazioni geofisiche (elettriche e « geosmiche ») eseguite nel pozzo hanno dato valori molto utili e come entità delle grandezze e come profondità (locali) dei confini fra formazioni aventi caratteristiche fisiche diverse. Tali valori assieme con quelli ricavati dal sondaggio in sponda calabra permetteranno di risalire ad una soddisfacente ricostruzione del sottosuolo, per qualche centinaio di metri sotto il fondo dello stretto in corrispondenza della soglia (13).

In sponda calabra (a Villa S. Giovanni un paio di m sul l. m. m.) dopo circa 70 metri di terreni sciolti (sabbie e conglomerati con acqua dolce e poi del mare), la sonda è entrata nei terreni cristallini acquiferi (con acqua dolce, abbondante e zampillante a 26 m sul l. m. m.) disgregati e alterati fino a 305 m di profondità; da 305 a 331 m gli stessi terreni non si presentano più né alterati né disgregati. Stanti gli scopi della ricerca e dato il tipo di rocce incontrate (basamento più antico della regione), non si è ritenuto necessario approfondire ulteriormente il foro.

L'esistenza (da circa 70 a 305 metri di profondità) del cristallino ridotto in frammenti e qua e là alterato conferma la legittimità dei dubbi relativi all'interpretazione dei campioni estratti da qualcuno dei sondaggi precedenti e che erano stati definiti come sabbie, argille ecc.

Ora, chi ha una certa dimestichezza con i terreni della Sicilia e della Calabria sa che, quando si sonda in quei terreni cataclastici si tirano fuori « argilla », sabbia e detriti; questa sabbia, per es., a prima vista, si può anche interpretare come sabbia alluvionale, di trasporto, cioè, e di deposito; invece è una formazione nella sua sede, che ha caratteristiche meccaniche tutte proprie, è una sabbia costituita da granuli perfettamente giustapposti fra di loro. Se lontana da superfici libere o di possibile espansione, questa sabbia sotto la compressione e sotto il taglio si comporta qualitativamente come un materiale lapideo e non sciolto.

Non è lecito paragonare una sabbia, sia pure la più costipata, (con 100, 1000 cicli) con una formazione cataclaszata non « rilasciata »: il peso specifico di quel materiale, se è per es., granito cataclaszato, è press'a poco lo stesso del granito originario.

La distinzione delle acque, sia come salinità, che come pressione di falda, è indubbiamente decisiva agli effetti tecnici: la presenza di acqua dolce in pressione (risaliente fino a ~ 26 m sul l. m. m.) ed in quantitativi abbondanti (come portate edotte) induce a riflettere ancora molto, prima di esprimere

(13) Non appare facile per ora prevedere fin dove si spingono i trubi. In ogni caso è da prevedere che la rappresentazione proposta in prima approssimazione, utilizzando il solo materiale (geologico e geofisico) raccolto in superficie, dovrà essere alquanto modificata per adattarla alle esigenze di queste « misure e determinazioni in pozzo ».

giudizi definitivi sullo stato idrogeologico del sottosuolo dello stretto, anche se la situazione in sponda sicula non è altrettanto semplice.

Per le caratteristiche geofisiche vale quanto si è accennato a proposito del sondaggio in sponda sicula.

Commissione Ministeriale.

Non potendo seguire un vero ordine cronologico, ricordiamo qui che fra il 1958 ed il 1961 una Commissione Ministeriale si è occupata dello stesso problema del collegamento, considerandolo però da un punto di vista più generale ed esaminando, perciò, anche altre possibilità di collegamento. A questa Commissione, della quale, come vi dicevo, faccio parte, è stato apportato anche il frutto dell'esperienza acquisita attraverso la collaborazione data, in qualità di rappresentante del Consiglio Superiore dei LL. PP., al Comitato (o Commissione) Regionale.

Problema sismico in generale e indagini consigliate.

In ambedue le Commissioni ricordate si sono assunti come punti fondamentali: 1) completamento delle ricerche programmate od in parte in corso, per una basata scelta del sistema di attraversamento; 2) preparazione, intanto, dei dati necessari nel caso eventuale di decisione per un ponte; 3) infine, chi vi parla ha insistito ed insiste fino alla noia perché si definisca dal punto di vista tecnico, applicativo il problema sismico. Questo problema ancora non è stato impostato nei termini dovuti, molti lo trattano troppo alla buona, « en passant ». E' questo un problema di Ingegneria specializzata, di Ingegneria sismica, cioè, la quale altrove conta numerosi tecnici aventi competenza specifica; da noi, invece, tale ingegneria è considerata quasi come un'appendice marginale.

Il problema è serio, veramente serio. Tale appare, ovviamente, a chi ha e sente la responsabilità delle decisioni, siano pure collegiali.

Per quanto riguarda questo aspetto sismico, ricordo che è stata proposta l'installazione di centri di osservazione in punti opportunamente scelti allo scopo di ottenere indicazioni dirette su una eventuale differenza di comportamento sismico delle due sponde dello Stretto, in occasione di eventi macrosismici forti, ma non catastrofici. Ma come s'è detto, dal 1955, ancora nulla si è concretizzato. Notizie utili possono raccogliersi, intanto, dal comportamento che i due piloni dell'elettrodotta presenteranno durante questi terremoti. Per il terremoto che si è verificato, in marzo, come vi dicevo, non risulta che le torri abbiano manifestato risentimenti macroscopicamente rilevabili (14).

(14) E' necessario però, impiantare dei mezzi di registrazione automatica delle oscillazioni delle singole torri e delle loro basi, in analogia a quanto si fa con le dighe; anche nelle stazioni terminali sarebbe utile disporre di apparecchi che registrino i movimenti dei tamburi di avvolgimento. Intanto si potrebbe anche provvedere a impiantare per lo meno quattro apparecchi, preferibil-

Soluzione in galleria.

L'attraversamento in galleria sotterranea appare ancora una soluzione da prendere in attenta considerazione dal punto di vista tecnico ed economico. L'attraversamento dello stretto in galleria sviluppata ad adeguata profondità e servita da due lunghe rampe di accesso potrebbe presentare il pregio di un più elevato grado di sicurezza di fronte ai fenomeni sismici. Tale maggiore sicurezza delle gallerie profonde, riconosciuta in genere, nel caso specifico è documentata dai sismi di fine 1800 e del primo decennio del 1900 che, pur essendo stati disastrosi, non disturbarono le gallerie ferroviarie, comprese quelle ricadenti nelle aeree epicentrali delle due sponde.

E' fuori dubbio che non è lecito assumere questi precedenti come dati di fatto validi, senz'altro, anche per un sotterraneo che attraversi perpendicolarmente o quasi la grande « linea di disturbo tettonico » riconosciuta sotto lo Stretto.

Tuttavia, l'alea sismica dovrebbe essere minore e la garanzia della funzionalità del servizio durante i terremoti dovrebbe essere maggiore che non nel caso di un ponte, di un'opera sviluppata all'esterno e vincolata alla superficie, alla parte più sensibile, cioè, alle scosse sismiche della crosta terrestre.

Resta, però, da esaminare anche l'incognita della provenienza delle acque salate (non schiettamente marine) rinvenute in sponda sicula a grande profondità (al disotto dei 380 metri); è, senz'altro, manifesto lo svantaggio della presenza di acqua tipicamente marina fino oltre i 220 metri di profondità riscontrata nella stessa sponda sicula.

Anche la soluzione in galleria richiede, dunque, ancora altri studi e forse qualche indagine complementare, oltre quelli di natura sismologica. Intanto dovrà essere chiarita la situazione idrogeologica del sottosuolo dello stretto. A tale scopo sarà indispensabile la revisione in corso della ricostruzione geologica basata essenzialmente sui risultati della Geofisica.

Soluzione del ponte ed indagini consigliate.

Per quanto riguarda il ponte, si è stati d'accordo, ogni qualvolta se ne è parlato ed in qualsiasi sede, sulla necessità di indagare dal punto di vista geotecnico seriamente, profondamente ed estesamente sulle caratteristiche dei sottosuoli che dovranno essere interessati dalle spalle (ed eventualmente da pile intermedie).

Supponiamo di aver superato in un modo o in un altro la grande incognita dei terremoti, da prevedere fortissimi fino a catastrofici.

Possiamo ragionare, allora, dal punto di vista di pura ingegneria civile ed affrontare il problema delle fondazioni di un'opera da considerare sempre di mole eccezionale. La profondità alla quale si

mente non ottici, per la registrazione automatica dei movimenti relativi delle due sponde, nelle tre direzioni (una verticale e due orizzontali) con approssimazione di una decina di cm: due di questi, fondamentali, potrebbero trovare sede presso le torri (per le tre componenti); le altre due in altri punti, collegati alle torri, per le sole due componenti orizzontali (fra di loro perpendicolari).

deve scendere con la fondazione in questi casi deve essere forte. Diventa ancora molto più forte, se si considera il problema sismico, ammesso che questo problema possa esprimersi esaurientemente in termini meccanici. Un modo di aggirare il problema sismico è quello di scendere con la fondazione a una profondità tale per cui l'effetto sismico sia ridotto al minimo se non sia diventato trascurabile. La profondità della fondazione sarà dell'ordine di parecchie decine di metri, per es., 50 metri. Ma in terreni sciolti del genere di quelli riconosciuti con i numerosi sondaggi, se si vuole scendere a 50 metri di profondità con la fondazione, bisogna assicurarsi che il corpo nel quale ricade il cosiddetto bulbo delle pressioni conservi le caratteristiche presupposte. E' necessario, pertanto, che fissata come ordine di grandezza la quota alla quale bisogna scendere con la fondazione e scelto il tipo di fondazione, si indaghi per una profondità per lo meno di altri 50 metri al disotto di questa quota, rilevando tutte le caratteristiche necessarie per una esauriente progettazione. In vista di ciò è stato suggerito un programma di lavori idonei allo scopo (15).

Conclusioni.

Possiamo dunque riassumere nel modo che segue i lavori già effettuati e quelli in corso.

(15) "E' stata consigliata l'esecuzione di assaggi preliminari diretti ad ottenere informazioni esaurienti sulle caratteristiche meccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo delle due sponde (compressibilità e "moduli elastici" sotto carico, agli effetti anche della trasmissibilità di onde elastiche). Gli assaggi in questione dovrebbero consentire il prelevamento di campioni indisturbati dei terreni di fondazione dell'opera, così da poter procedere allo studio delle caratteristiche geotecniche di questi; essi, pertanto, dovrebbero essere realizzati con sondaggi di grosso diametro o meglio ancora, fin dove possibile, con pozzi accessibili.

Tali sondaggi o pozzi dovrebbero assicurare la possibilità di prelevare campioni indisturbati fino alla profondità di almeno una cinquantina di metri al disotto delle presumibile quota dei piani di fondazione; essi però, in vista dell'eccezionalità delle dimensioni orizzontali delle fondazioni stesse (e quindi della forte dimensione verticale del "bulbo delle pressioni"), dovrebbero essere approfonditi per almeno altri cinquanta metri, anche se con diametro ridotto, per assicurarsi che a maggiori profondità non si manifestino circostanze che possano far variare i giudizi sulle caratteristiche dei terreni di fondazione dell'opera raggiunti sulla base degli accertamenti compiuti sui terreni attraversati nei primi 50 metri.

Il numero dei sondaggi (o pozzi) da effettuare dovrebbe essere stabilito in relazione all'ampiezza della fascia entro la quale, in sede di progetto, potrebbe essere spostato l'asse del ponte, tenendo presente l'opportunità di non distanziare troppo l'uno dall'altro i singoli assaggi.

Occorrerebbe prevedere, comunque, almeno due sondaggi (o pozzi) su ciascuna sponda, miranti a caratterizzare (per interpolazione) dal punto di vista geologico e geotecnico tutta la fascia di terreno compresa fra i due scavi di saggio. Se però questi dovessero fornire risultati troppo diversi tra di loro, verrebbe meno la possibilità di caratterizzare in modo unico i terreni compresi in detta fascia e, pertanto, si renderebbe necessaria l'esecuzione di sondaggi intermedi (anche semplicemente geognostici) per poter circoscrivere con maggiore approssimazione le aree entro le quali sarebbero da estendere i risultati dell'uno e dell'altro dei due sondaggi estremi" (Dalla nota nei Rend. d. l'Acc. d. Lincei del febb. 1961, già citata).

A) Lavori effettuati dalla Regione Siciliana

Tali lavori sono consistiti in:

1) rilievo geologico in corso di stampa.
2) rilievo geofisico (sismico ed elettrico): finita la prima fase; iniziata la seconda fase (controlli e revisioni parziali) sulla scorta dei risultati dei sondaggi di cui al n. 4.

3) raccolta — a cura del Prof. ARCANGELI (Presidente della Commissione Regionale) — della bibliografia riguardante l'argomento.

4) due sondaggi già ultimati sulle due sponde (circa 600 m in Sicilia e 330 m in Calabria): effettuate tutte le prove previste; i risultati dei sondaggi hanno fornito elementi esaurienti sulle caratteristiche dei sottosuoli investigati; hanno eliminato alcuni fondamentali dubbi esistenti.

B) Indagini eseguite dalla Commissione Ministeriale

Studi, raccolte bibliografiche, rilevamenti statistici ed esami vari sono stati eseguiti dalla Commissione Ministeriale in riguardo specialmente ad altre soluzioni prospettate per l'attraversamento.

La Commissione ha fatto proprio il gruppo di indagini dirette in campo sismico a suo tempo (1955) proposte. Aveva anche deciso l'esplorazione diretta del sottosuolo delle due sponde estesa a tutto il corpo di terreno presumibilmente impegnato dalle fondazioni delle spalle di un ponte.

C) Lavoro in corso curato dalla Regione Siciliana

Per conto della Regione sono ancora in corso:

1) vagliatura e rielaborazione di tutti i dati raccolti con i due sondaggi.

2) rielaborazione dei dati geofisici raccolti (con la campagna a suo tempo effettuata), tenendo conto dei nuovi elementi ricavati con i due sondaggi e relative prove.

D) Deduzioni traibili per ora dai sondaggi effettuati dalla Regione e dalle varie altre indagini finora espletate

Dai risultati dei due sondaggi con relativi studi (petrografici, paleontologici, ecc.) delle carote e dei detriti, carotaggi elettrici ed altri rilevamenti, prove di eduazione, determinazioni in pozzo (geoelettriche, «geosismiche» e termometriche), analisi chimica e fisica delle acque rinvenute ecc. si possono trarre le seguenti deduzioni, basate anche sulle precedenti conoscenze ed utili agli effetti tecnici diretti ed indiretti.

Al disotto dei sedimenti (fra i quali in sponda sicula anche le marne dette «trubi») per lo più sciolti, spessi da circa 400 m (Sicilia) a meno di 70 m (Calabria), si trovano i terreni cristallini; questi sono cataclasizzati ed alterati fino a oltre i 600 metri in sponda sicula; in sponda calabrese a 300 m circa appaiono invece già quasi integri.

Dal punto di vista geologico è quasi sicura l'esistenza di lacune stratigrafiche e di rilevanti accidenti tettonici (dislocativi) fra le due sponde.

Dal punto di vista idrogeologico, le acque marine si rinvennero fino alla profondità di m 225 e 70 circa, rispettivamente in sponda sicula ed in sponda calabra.

In sponda sicula a partire da circa 380 m (di profondità) sono presenti acque salate zampillanti (risalenti fino a circa 2,5 m sul l. m. m.), ma non abbondanti; in sponda calabra a partire da circa 70 m (di profondità) si incontrano acque dolci, abbondanti e zampillanti (risalenti fino a circa 26 m sul l. m. m.).

I risultati della prospezione geofisica, svolta a suo tempo, potranno adesso interpretarsi con un elevato grado di approssimazione grazie alla determinazioni eseguite con i sondaggi. Si attende, perciò, lo schema della struttura geologico-fisica del sottosuolo dello Stretto, non direttamente esplorato; tale schema permetterà di formulare ipotesi molto fondate anche sulle probabili condizioni idriche del sottosuolo stesso.

E) Indagini, prove ed osservazioni ancora da svolgere

Sono ancora da iniziare:

1) osservazioni sismologiche di dettaglio condotte allo scopo immediato del problema e che

possano rilevare le eventuali differenze di comportamento delle due sponde durante terremoti sensibili, ma non catastrofici; controlli automatici del comportamento delle due torri (dell'« attraversamento elettrico ») durante i macrosismi.

2) assaggi geotecnici diretti dell'immediato sottosuolo (un centinaio di metri di profondità) indispensabili per progettare le fondazioni delle spalle di un ponte nel caso che, prescindendo dal fattore sismico, la soluzione in galleria sia da escludere in base principalmente alle risultanze delle ricerche sulle caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo di cui ai precedenti numeri.

Concludiamo, insistendo sulla necessità di provvedere subito alle indagini da tempo prospettate ed indispensabili per il completamento degli studi. Formuliamo, perciò, il voto che si iniziino presto le osservazioni sismologiche di dettaglio, controllando l'idoneità del sottosuolo dei punti prescelti per l'impianto delle stazioni.

Si raccomanda, infine, di eseguire tempestivamente gli assaggi geotecnici sulle due sponde per essere pronti ad operare nel caso di scelta definitiva, ma giustificata della soluzione del ponte.

Roma (S. Pietro in Vincoli), *Centro di Studio per la Geologia Tecnica del C.N.R. presso l'Istituto di Geologia Applicata dell'Università (Facoltà d'Ingegneria),*

28 marzo 1961.

SUMMARY - The paper reports on the geological-technical problem of the crossing of the Strait of Messina which offers unusual difficulties because of the prominent seismic character of the region.

It is recalled that investigations, researches and studies had been and have been effected in order to create the necessary premises for the choice of the most suitable system of connecting Sicily with the Continent by means of a lasting complex practicable by all kinds of vehicles.

The solutions still under examination consist in a bridge of the most appropriate type, a tunnel based on the sea bottom, a reef dam and a tunnel to be excavated beneath the ground of the Strait at the necessary depth.

The air crossing by electrical cables was carried out in 1952-55 on the basis of accurate investigations, tests and researches; many of these have been suggested (from 1950 on) especially by the consideration of the earthquakes and tsunamis well known in that locality.

The paper furthermore reports on the state of knowledge subsequently achieved, mainly thanks to the investigations promoted by the *Government of the Sicilian Region* and splendidly conducted by the geologists and geophysicists charged with them.

Communication is made of the results of the studies effected and of the conclusions, drawn also from direct experiences and personally acquired, of the particular geological-technical characteristics of the Calabrian-Sicilian soils.

Then the terms are exposed in which the problem has been formulated and faced; it is touched upon the programs of investigation, tests and observations, established for a *Regional Commission of Sicily* and then for a *Ministerial Commission*.

The programs are mostly in phase of development and tend to determine an objective view of the natural surroundings in which the project which consequently will be chosen for the connection will be carried out.

SOMMAIRE - L'A. informe sur le problème de unir la Sicile au Continent à travers le Détroit de Messine. Ce problème présente des difficultés tout à fait exceptionnelles à cause de la remarquable sismicité de la région.

L'A. rappelle que les investigations, les recherches et les études ont été exécutées au but d'établir la base indispensable pour la choix du moyen le plus convenable, pour unir la Sicile au Continent avec un oeuvre permanente et transitable par toute sorte de véhicules.

Les solutions étudiées sont représentées par un pont du type le plus propre, par une galerie posée sur le fond du Détroit à une profondeur opportune.

Le traversée aérienne avec des cables électriques a été réalisée (en 1952-55) sur la base des résultats des investigations et des recherches très soignées; beaucoup de celles-ci ont été conseillées (à partir de 1950) particulièrement par la consideration des tremblements-de-terre et des raz-de-marée bien connus dans la région.

L'A. informe sur l'état des connaissances successivement atteint, grâce surtout aux recherches organisées par le *Gouvernement de la Région Sicilienne* et admirablement conduites par les geologues et les geophysiciens chargés du travail.

L'A. expose encore les résultats des études exécutées et les conclusions, tirées aussi de l'expérience personnellement acquise, sur les caractéristiques geo-techniques des terrains calabro-siciliens.

Ensuite l'A. expose les termes dans lesquels le problème a été posé; il a signalé encore le programme des investigations et des essais redigé pour une *Commission du Gouvernement de la Région Sicilienne* et, après, pour une *Commission du Ministère des Travaux Publics*.

Les programmes, la plupart en cours d'exécution, ont le but de concrétiser un cadre objectif de l'ambiance naturelle dans la quelle l'oeuvre sera réalisée.