

## **La stabilità sismica delle costruzioni e la sua realizzazione col cemento armato**

*Colleghi,*

Ancora freme nei nostri petti l'eco dei palpiti di angoscioso dolore, destati in noi dall'improvvisa funerea notizia dell'immane sciagura piombata nella triste alba del 28 dicembre sulle popolose spiagge dello stretto Calabro-Siculo.

Là dove erano fiorenti città ed ameni borghi si accatastarono fumanti sanguinose rovine; là dove era un sorriso di cielo infuriò il tragico sconvolgersi degli elementi; là dove era vita spensierata s'assise la morte macabra. Per più giorni Italia tutta ansiosa visse sperando di momento in momento in notizie meno paurose, e sempre, di giorno in giorno, di ora in ora, una parola più sconsolante, un particolare più terribile, una certezza più straziante la confermavano nel più sconfinato dolore, nel lutto inobliabile. Ormai ci è nota in tutta l'inaudita grandezza la spaventosa realtà: ormai sappiamo misurare l'atroce ecatombe: noi tutti in ispirito abbiamo visto estrarre dalle macerie i corpi mutilati di decine di migliaia di persone, abbiamo assistito alle inenarrabili angosce dei sepolti vivi, abbiamo presenziato all'agonia di coloro che dopo infinito strazio rivedevano la luce solo per rendere l'estremo anelito nell'aere libero. Nessun dolore umano ci fu risparmiato: qualunque immaginazione fu vinta dal vero!

Solo conforto in tanta desolazione lo slancio ammirevole di fraterna carità che unì in un solo intento tutto il popolo italiano, e con esso i popoli del mondo civile intero: soccorrere, alleviare, lenire; solo conforto l'entusiasmo col quale ognuno si adoprò per venire in aiuto come poteva, dalle Loro Maestà, la cui magnanima pietà sollevò l'ammirazione di tutti i popoli, all'umile popolano che dimentico di ogni sua necessità recò sollecito il proprio obolo; solo conloro la splendida affermazione della nostra Rappresentanza Nazionale che unanime dichiarava che le città ed i paesi rasi al suolo dovevano risorgere!

Risorgeranno: sull'immenso cimitero verranno riedificate città e villaggi: torneranno a specchiarsi nel mare azzurro e traditore, adagate nella conca verde del terreno infido, le chiese, le ville, i palazzi, i casolari: ritornerà la vita dove è la morte: la suprema legge del sentimento patrio lo vuole, e sarà! Risorgeranno Messina e Reggio, risorgeranno Palmi, Bagnara e Scilla; risorgeranno tutte! Ma occorre che risorgano per non più cadere: occorre almeno che niuno possa rimproverarsi di aver esposto sè, la sua famiglia, il prossimo suo, ad un pericolo probabile, quasi certo, senza premunirsi, senza provvedere per quanto umanamente

possibile ad opporsi alla crudeltà delle forze brute della natura. Questo hanno affermato i voti solenni della Camera dei Deputati e del Senato del Regno. Ed io credo che il compito nostro non sia finito: che non basti aver donata una somma più o meno cospicua, secondo i nostri mezzi, a pro dei superstiti: noi dobbiamo ad essi anche il nostro concorso morale, il nostro consiglio, il nostro aiuto per l'avvenire.

Per questo io ho creduto non vano l'intrattenere voi, Egregi Colleghi, su di un argomento che è vitale per la rinascenza della vita nelle regioni desolate; e ne ho presa l'iniziativa, non perch'io mi illuda di poter trattare completamente ed autorevolmente il vastissimo tema dei mezzi di costruire stabilmente nelle plaghe soggette a fenomeni sismici (al che mi avrebbero fatto difetto il tempo e la valentia), ma perché ho creduto degno l'attrarre sollecita la vostra attenzione su di un problema che l'amor di patria impone a voi essenzialmente, come corpo tecnico, a ciò idoneo, di studiare, di sviscerare, di risolvere.

Io non intendo di sapere e di potere riassumervi e dirvi quanto di più attendibile, di più serio, di più scientifico, venne finora alla luce su questo proposito: m'accontento di esporvi semplicemente quel che so, e quel che ne penso, modestamente, senza pretese, solo per portare la mia pietra alla grande costruzione: per quanto minima essa può avere la sua utilità.

Non mi trattengo pertanto a discutere se convenga abbandonare l'idea di ricostruire nelle stesse località per scegliere terreni che la scienza consiglia come più sicuri, ovvero se tale proposta d'abbandono scientificamente logica sia umanamente assurda: io non vi parlo dell'orientazione delle vie e dei fabbricati in rapporto alla direzione delle impulsioni sismiche prevalenti nella località; accenno soltanto che escludo nella mia esposizione sommaria che una costruzione venga eseguita a cavalcioni del confine di due terreni differenti, ovvero su terreni che possano slittare, perchè in questi due casi penso che non esista mezzo reale di preservarsi dalla rovina. Il mio studio si limita a considerare una delle numerose facce del problema; cerca il mezzo cioè di assicurare la stabilità di un edificio contro le semplici scosse di un terremoto che non oltrepassi la massima violenza sismologicamente riconosciuta possibile nelle nostre regioni. E se io vi parlo essenzialmente di un sistema, se lo raccomando vivamente alla vostra attenzione, se ve ne descrivo i pregi ch'io gli riconosco, e vi esprimo francamente la mia opinione sulla utilità, quasi sulla necessità, del suo impiego, non crediate che altra considerazione sia rimasta presente al mio pensiero nel buttare in carta queste idee, fuorchè la convinzione sincera, assoluta, irriducibile, che l'applicazione nelle costruzioni del sistema e dei concetti ch'io vi espongo sarebbe una salvaguardia contro così immense calamità quale quella che lagrimiamo.

## Ricerca degli sforzi prodotti nelle costruzioni dalle scosse sismiche.

A chi si propone di ricercare un sistema per ricostruire stabilmente anche nelle cosiddette plaghe sismiche, una prima indagine è doverosa: quella del come siano prodotte le rovine dei fabbricati esistenti. I passati e recenti terremoti costituiscono certamente un preziosissimo soggetto di studio a questo riguardo: e la raccolta delle osservazioni già fatte e quella a farsi non può che permettere la deduzione di importantissime conclusioni. Tuttavia, anche considerando puramente in modo astratto lo svolgersi del fenomeno, mi pare possano ottenersi deduzioni di carattere essenziale. Vediamo dunque quali possano essere gli sforzi che sotto l'azione delle scosse tendono a produrre la rovina di una costruzione.

Un'idea grossolana della loro natura ce la fornisce il ricordo degli effetti bruschi di un'improvvisa fermata di un tram in corsa o di un vagone ferroviario: l'intera ossatura scricchiola, si deforma, stride nelle giunture, e, se ogni pezzo non fosse resistente alle deformazioni, e ben inchiodato agli altri, tutto si sfascierebbe rapidamente. Altrettanto deve accadere in una costruzione sotto l'effetto delle scosse del terremoto. Questo terribile fenomeno si può realmente ridurre ad un succedersi rapidissimo di movimenti in senso inverso di una porzione della crosta terrestre, od in una direzione unica, od in diverse direzioni: se la direzione è unica e verticale, si ha il moto sussultorio; se la direzione è orizzontale, si ha il moto ondulatorio; se la direzione non è nè orizzontale nè verticale si ha il moto misto sussultorio ed ondulatorio; nel caso poi che le direzioni orizzontali siano diverse e si succedano abbastanza rapidamente, si ha una forma impropriamente detta rotatoria. Questi movimenti trasmettono al solido che si appoggia sul suolo corrispondenti deviazioni rapide ed in senso inverso dalla sua posizione d'equilibrio; ogni inversione di movimento corrisponde all'urto di arresto del tram o del treno.

### Lavoro di disaggregazione.

Ora è anzitutto evidente che un corpo, solidale o non colla base di sostegno, massiccio o non, così di dimensioni prevalentemente verticali, come di base amplissima, ad ogni inversione nella deviazione impressagli dalla base di sostegno, per la legge d'inerzia che tende a far conservare ad ogni molecola il moto iniziale, subisce in ogni sua particella un lavoro corrispondente alla forza di inerzia che venne vinta: questo lavoro che agisce indistintamente in tutte le parti del corpo è un lavoro di disaggregazione, perchè ad esso si oppongono solo le forze molecolari della materia. Tale lavoro di disaggregazione pura e semplice appare di luce meridiana ove si consideri un blocco di terra non troppo coerente, posato su di una lastra assoggettata a rapide vibrazioni; la terra si sgretola senz'altro, abbastanza in breve tempo: il lavoro di disaggregazione ha in questo caso vinto facilmente la forza di attrazione molecolare. Ciò non sarà possibile in corpi in cui

la coesione abbia un valore più elevato: ma anche se gli effetti non ne sono visibili, il lavoro di disaggregazione esiste sempre, di grandezza maggiore o minore; nella sua influenza sarà questione di gradi, ma non può essere dubbia la sua realtà e la sua nocività.

### Scosse ondulatorie su elementi verticali.

Se poi in secondo luogo si considera la scossa ondulatoria, o la componente orizzontale del moto misto, nella sua azione sopra un solido di dimensione verticale non trascurabile, riesce evidente che mentre le parti del solido più prossime al terreno seguiranno prontamente le oscillazioni di questo, le parti più lontane, risentendo maggiormente l'azione della forza di inerzia, avranno un ritardo di fronte alle prime: e talvolta il ritardo potrà raggiungere una lunghezza d'onda, sì che le due estremità di uno stesso solido verticale siano nello stesso istante soggette a due movimenti in senso inverso; onde ne risulteranno momenti rilevanti che tenderanno a spezzare il solido. Vogliamo avere un'idea chiara del fenomeno, con un esperimento facilmente realizzabile? Prendiamo una molla piatta, trattenendola saldamente verticale fra pollice ed indice ad un'estremità, lasciando l'altra libera, e poi agitiamola violentemente in senso orizzontale: la molla non tarderà a prendere una forma a sinusoide che farà fede indiscutibile dei momenti di flessione cui resterà assoggettata.

Questi momenti in piani verticali per ritardo d'onda, se agiscono su di un elemento di dimensione verticale predominante di fronte alla orizzontale distesa nel senso del moto, vi producono dei momenti di flessione che tendono a generare delle fratture orizzontali: se agiscono su di un elemento di dimensione normale al movimento trascurabile di fronte alle altre due, pressochè uguali fra di loro, vi generano dei momenti di torsione, con tendenza a produrre fratture irregolari e scompaginamento nel solido.

Basterebbe in teoria il fatto che il ritardo d'onda produca dei momenti di flessione o torsione, per comprendere che negli stessi elementi e per le stesse cause debbono generare altresì degli sforzi di taglio; del resto riesce chiaro che se la forza d'inerzia all'estremità superiore tende a far proseguire il solido nel movimento assunto, mentre la forza applicata alla base tende ad invertirlo, queste due forze (di cui la inferiore fa da reazione d'appoggio come in un solido verticalmente incastrato al piede, e la superiore, o meglio le varie forze superiori, costituiscono il carico), generano nel solido degli sforzi taglienti che vanno crescendo dall'alto al basso per raggiungere il massimo al piede. Praticamente il ritardo di trasmissione di moto ed il conseguente sforzo tagliente appaiono da una semplicissima esperienza che ognuno conosce e può ripetere facilmente: si formi una pila di scudi d'argento, posata su di un foglio di cartone e si applichi a questo un moto repentino di trazione orizzontale; si potrà sottrarre il cartone senza che la pila si rovesci; e se il primo scudo fosse stato fissato al cartone si sarebbe sottratto quel primo scudo agli altri senza rovesciamento; se non si può sottrarre

maggior quantitativo si è solo che il salto per mancato appoggio diviene troppo alto per permettere la conservazione dell'equilibrio. Dunque si è vinta una forza orizzontale d'attrito: esiste pertanto una forza orizzontale equivalente.

Orbene, questi sforzi orizzontali di taglio tendono a produrre bensì principalmente delle fessure orizzontali (tanto più in un masso murario dove i giunti orizzontali costituiscono dei facili e veri piani di scorrimento), ma producono altresì delle fratture inclinate a circa  $45^\circ$ , e ciò specialmente nei corpi monolitici ed in combinazione colla flessione.

Non è a credere che questo ritardo di trasmissione di moto, dovuto e combinato colla forza di inerzia, si limiti a generare negli elementi verticali del solido degli sforzi di flessione, torsione e taglio: la serie è completa cogli sforzi di compressione e di tensione. La loro generazione è del resto di tutta evidenza. Supponiamo di avere un cavalletto, risultante da due puntoni, egualmente inclinati alla verticale, combacianti fra di loro all'estremità superiore, e trattenuti al piede da un legame orizzontale o comechessia, e supponiamo che in punta al cavalletto agisca un carico verticale. Quando per ritardo di trasmissione di moto e forza d'inerzia accade che la verticale del carico si sia spostata, e rispetto ad essa non siano più simmetriche le basi dei due puntoni, ne risulta che uno dei due puntoni ha un'aggravio di pressione, mentre l'altro ne ha una diminuzione: ed in certi casi si comprende benissimo come si possa addirittura in uno dei due puntoni invertire il senso dello sforzo trasformandolo in una tensione. Orbene, non occorre avere proprio un cavalletto per generare pressione e tensione; due pilastri collegati un po' rigidamente da una trave o da una piattabanda, o meglio ancora da una parete piena o da un traliccio, si trovano in quelle stesse condizioni: anche più chiaramente un arco a grande monta potrà subire degli aggravamenti negli sforzi, o dell'inversione in essi.

Si possono generare così delle fratture per schiacciamento, o per strappo puro e semplice.

Accade poi talora che un elemento verticale (muro), di cui una dimensione orizzontale (spessore) sia piccola di fronte all'altra (lunghezza), venga ad appoggiarsi su punti assai distanti del terreno, che non sempre sono soggetti alle stesse fasi dell'onda: spesso inoltre lo stesso elemento ha dei punti di maggiore spessore, o più rigidi perchè uniti con altri elementi verticali di direzione perpendicolari al primo (muri trasversali o contrafforti); dimodochè, le ampiezze delle oscillazioni delle sue varie parti non risultando eguali, esso si scompone in varie striscie che subito, o dopo qualche tempo, non sono più nella stessa fase d'onda: ne nascono degli sforzi di flessione agenti secondo l'asse orizzontale del solido, e sforzi taglienti pure normali all'asse orizzontale del solido: tendenti entrambi a generare fratture in piani verticali.

#### **Moto ondulatorio su elementi orizzontali.**

Si potrebbe essere tentati di credere che il moto ondulatorio o la componente orizzontale del moto misto, dovesse essere senza azione sugli elementi orizzontali del solido; ma così non è. Se ben si considera, riesce anzitutto evidente che se

l'elemento orizzontale è rigidamente connesso a degli elementi verticali, quando questi si inflettono esso deve pure subire degli sforzi di flessione. Prendiamo tre aste di cui due verticali, e la terza orizzontale, ma saldata colle prime due: ove facciamo oscillare violentemente le aste verticali, esse si infletteranno a sinussoide, ma si vedrà pure inflettersi l'asta orizzontale, che, tendendo nella sua unione colle due prime a mantenere l'angolo originario, assumerà essa pure una forma a sinussoide. Più chiaro ancora si scorge il fenomeno, ove si faccia oscillare un'asta verticale la cui estremità venga ripiegata orizzontalmente: ogni oscillazione orizzontale del piede viene trasformata in una corrispondente oscillazione verticale del braccio. Questo fatto produce quindi in elementi orizzontali per solo effetto del moto ondulatorio degli sforzi di flessione e degli aumenti negli sforzi di taglio.

Che se poi pensiamo che l'elemento orizzontale può essere appoggiato su due elementi verticali di differente lunghezza e di differente resistenza, o soggetti a diversa fase d'onda, si comprende come i suoi due appoggi estremi possano allontanarsi od avvicinarsi, od anche spostarsi parallelamente, generando nell'elemento orizzontale rispettivamente tensione, compressione, e torsione combinata col taglio. Le fratture possono aver luogo quindi in un elemento orizzontale in tutti i sensi: in piani verticali perpendicolari alla direzione di resistenza del solido, presso l'appoggio od alquanto più distante da esso, per effetto della flessione; in piani verticali come sopra, od a  $45^\circ$ , prossimamente all'appoggio, per incremento nello sforzo di taglio; in piani verticali paralleli alla direzione di resistenza, per taglio o per torsione; in piani verticali comunque, per strappo o per schiacciamento.

#### **Moto sussultorio su elementi verticali.**

Di effetto meno variato, benchè forse non meno nocivo, è il moto sussultorio, o la componente verticale del moto misto. Sugli elementi verticali (a parte il pericolo che combinato col moto orizzontale possa provocare degli spostamenti sulla base d'appoggio) l'effetto provocato è generalmente un notevolissimo incremento degli sforzi di compressione; il solido, innalzato improvvisamente, viene lasciato in seguito nuovamente cadere, e quindi si produce in esso una vera serie di urti i cui effetti su di un corpo non troppo compatto possono essere dannosissimi. Non è da escludersi che anche qui abbia a sentirsi influenza per ritardi e sconcordanza d'onda, ma non pare che gli sforzi relativi possano mai assumere importanza meritevole d'esame.

#### **Moto sussultorio su elementi orizzontali.**

Molto più grave è l'effetto prodotto dal moto sussultorio sugli elementi orizzontali. Anzitutto può dirsi che gli stessi sforzi che il moto ondulatorio produce negli elementi verticali deve produrre il sussultorio sugli elementi orizzontali; quindi flessione, torsione, taglio, pressione e tensione con tendenza a fratture in piani diversissimi. Ma vi è una differenza sostanziale: mentre pel moto ondulatorio l'unica forza agente nel senso del moto era la forza d'inerzia, e la forza di gravità non interveniva a produrre aumento di sforzo che nel caso di solidi

verticali la cui deformazione orizzontale dell'asse creava od aggravava momenti di flessione prodotti dall'eccentricità della risultante dei pesi, qui invece la forza di gravità, così per il peso proprio, che per i carichi esterni, agisce nel senso del moto, e viene per ciò trasformata da forza statica in forza dinamica.

Qui è il caso di fare una considerazione. Una scossa ondulatoria non tende mai a staccare un oggetto dal suo appoggio altro che per rovesciamento: poichè noi finora abbiamo fatto astrazione dal rovesciamento, riserbando di parlarne in seguito, possiamo dire che in tutte le considerazioni svolte sempre si è ritenuto il solido unito o quanto meno aderente al suolo, sì da subirne in modo continuo gli spostamenti. Ma invece nel moto sussultorio la forza viva che il solido acquista sotto l'azione della spinta del suolo tende a distaccarlo da questo, sì che il sollevamento non è limitato che dall'equilibrio fra la forza viva acquisita ed il peso soprastante. La fase di ritorno è pertanto assolutamente indipendente dal suolo, e perciò essa è una caduta, con conseguente accelerazione, ed urto finale all'incontro coll'appoggio. È questo urto che produce i danni peggiori del moto sussultorio: per infinitesima che sia la caduta, essendo in generale grande la massa, la forza viva acquisita risulta grande: molto forte perciò l'incremento dei singoli sforzi che già esistevano nel solido, fossero essi di flessione, di taglio, di compressione o di tensione: e più ancora che nell'essere forti tali sforzi acquistano gravità nell'essere repentini. Vi è poi in questo caso un'aggravante ancora: il fenomeno di ampliazione di moto dovuto all'elasticità: fenomeno che abbiamo taciuto parlando dei moti ondulatorii (benchè anche per essi avesse la propria influenza), dacchè a spiegare i fenomeni non era necessario, e solo è necessario tenerlo presente nello stabilire l'entità delle deformazioni e degli sforzi relativi; ma nel caso presente esso diventa di un'importanza di prim'ordine.

Non solo il solido si distacca dal suolo nel moto sussultorio, ma tutti i corpi che sui vari elementi del solido trovavano appoggio e non erano con questi strettamente collegati, vengono sbalzati dal loro sostegno, e non per l'ampiezza sola con cui venne mosso il sostegno, ma per un'ampiezza singolarmente accresciuta per causa dell'elasticità dei corpi.

Io credo questo fenomeno a voi troppo familiare per dovervi insistere: tutti abbiamo studiato coi nostri primi elementi di fisica l'apparecchio di Mariotte, ed abbiamo visto in una serie di palle d'avorio sospese ognuna con un filo, ed a dolce contatto fra di loro, l'ultima della serie riprodurre grandemente amplificato il piccolo urto dato alla prima della serie. Tutti i carichi quindi vengono sbalzati dai loro sostegni con una violenza assai maggiore di quella trasmessa dal suolo, per poi ricadere come bolidi con una forza viva più che ragguardevole. Occorre forse altro per spiegare il perchè in molti edifici, i cui sostegni verticali si ressero ottimamente, quasi tutti i solai e le volte caddero in modo completo, tagliandosi nettamente agli appoggi e sprofondando gli uni sugli altri fino al suolo?

### Scosse su elementi obliqui.

Abbiamo così esaminati gli sforzi provocati, sì dal moto ondulatorio che dal moto sussultorio, tanto sugli elementi orizzontali che sui verticali: con ciò naturalmente riesce facile in ogni caso il vedere l'influenza delle scosse su di un elemento intermedio fra la verticale e l'orizzontale; non vi è che da comporre geometricamente gli effetti nello stesso modo con cui si sommano le due componenti per ottenere il moto reale.

### Moto sussultorio sulle fondazioni.

Ma si cadrebbe in grave errore ove si ritenesse di aver con ciò passato in rivista tutte le forze che tendono a provocare la rovina del fabbricato. Uno studio di massimo interesse resta a fare; quello dell'influenza del terremoto sulle fondazioni.

Anche qui distingueremo l'effetto del moto sussultorio e del moto ondulatorio. Il primo ha per conseguenza principale di tendere a staccare dalle fondazioni gli elementi che vi si appoggiano, per rilasciarveli cadere con intensità di carico aumentata per forza viva: e nello stesso tempo e modo di tendere a sollevare la fondazione dal suolo su cui appoggia, e su cui ricade con pressione aumentata. Ogni blocco di fondazione agisce quindi sul suo appoggio come un maglio di caduta piccolissima ma di massa enorme: se questo suolo non è durissimo è certo che sotto l'effetto di tali urti dovrà comprimersi, assettarsi maggiormente di quanto non avesse fatto fin che soggetto ad un carico regolare. Potrà ritenersi che tutti i cedimenti avvengano perfettamente uguali, ed il piano di posa della fondazione resti sempre perfettamente orizzontale? Evidentemente no, perchè per ciò occorrerebbe non solo ideare un suolo perfettissimamente uniforme (e quest'assoluto non esiste in natura), ma bisognerebbe altresì che in ogni fondazione la massa incumbente fosse esattamente proporzionale alla base di appoggio, e l'ampiezza dell'oscillazione e della caduta esattamente uguale per tutte. Ne viene per conseguenza inevitabile che in una costruzione, non poggiata su di un terreno incomprimibile, per effetto delle scosse sussultorie le varie fondazioni debbono cessare di conservare il primitivo livello orizzontale, e che i cedimenti saranno sensibilmente disuguali: onde in entità maggiore o minore dovrà venire variato il regime di equilibrio statico su cui si basava la costruzione nella condizione primiera di fondazioni a livello. Accadrà anzi ancora che le fondazioni che più avranno ceduto, tenderanno per questo fatto stesso in linea generale ad assumere un carico anche maggiore, sì che la loro condizione verrà progressivamente peggiorata.

Inoltre sotto l'effetto delle stesse cause di cui sopra non è ad escludersi che alcuna delle superfici d'appoggio delle fondazioni sul suolo non abbia a risultare più nè piana nè orizzontale; ne verrà come logica conseguenza che nei punti di contatto la pressione risulterà grandemente superiore alla consueta e l'affondamento ulteriore resterà inevitabile; d'altra parte se le fondazioni trovando una faccia d'appoggio inclinata si inclineranno, l'appoggio da esse fornito agli elementi sovrastanti cesserà di essere stabile e sufficiente: e da ciò potrà conseguirne maggiori sforzi negli elementi stessi, e forse la loro rovina.

### Moto ondulatorio sulle fondazioni.

Gli effetti del moto ondulatorio sulle fondazioni se a tutta prima sono meno evidenti, non sono meno pericolosi.

Abbiamo visto che il moto ondulatorio può produrre degli aumenti di pressione in certi elementi, e delle diminuzioni di pressione od addirittura l'inversione di sforzo in certi altri. Ne accadrà che anzitutto nella superficie di contatto fra elementi e fondazioni si potrà raggiungere il carico di schiacciamento, e ne conseguirà che il suolo più compresso in certi punti, ed alleggerito momentaneamente dal carico in certi altri, potrà permettere dei cedimenti non consentiti in condizione normale.

Ma abbiamo visto altresì che il moto ondulatorio genera negli elementi verticali dei momenti di flessione e di torsione; questi momenti verranno trasmessi alla base di fondazione, integralmente se fra elementi e fondazione v'è un'unione rigida, sotto forma di eccentricità di carico se elementi e fondazioni sono a semplice contatto. Questi momenti applicati alla fondazione tendono a produrne la rotazione, e questa tendenza fa sì che la pressione della fondazione sul suolo diventi nulla su di un margine della base, massima sul margine parallelo opposto; a parte quindi gli aumenti di carico, la pressione su tale margine può risultare doppia della normale, e può essere anche più che doppia se la flessione trasmessa è molto forte. Non è a stupire se sotto tale pressione il suolo cede leggermente. Ma tosto coll'inversione dell'onda il momento flettente s'inverte: lo stesso fenomeno avviene, ma sul margine opposto, dove il terreno cederà a sua volta: e ciò si ripete rapidamente infinite volte. Conseguenza inevitabile, se il terreno non è incomprimibile, risultano successivi abbassamenti della base d'appoggio, i cui dannosi effetti già considerammo.

Si osservi ancora che questa alternativa successione di momenti opposti non agisce solo sulla base d'appoggio, ma se la fondazione è interrata, specialmente se a pozzi, agisce anche sulle faccie verticali del terreno, allargando così alternativamente nei due sensi opposti lo scavo della fondazione. Questa perde quindi della stabilità in senso orizzontale: spesso anche perde nella stessa sua resistenza unitaria, chè naturalmente un materiale compresso entro il terreno che gli fa da cerchiatura resiste assai più che se completamente isolato.

Ciò che poi è ancora più grave si è che dopo questo lavoro di distacco dalle pareti verticali del terreno, la fondazione, che in certi momenti può trovarsi pressochè alleviata del carico, resta libera di spostarsi orizzontalmente, e ciò tanto più facilmente se il moto ondulatorio ha quei rapidi mutamenti di direzione che caratterizzano il moto detto rotatorio. Può accadere che una fondazione venga così a spostarsi sotto all'elemento verticale che dovrebbe trovarvi appoggio, e che varii più o meno sensibilmente la propria posizione rispetto alle altre fondazioni; le conseguenze disastrose di un tal fatto sono così evidenti che non mi fermo nemmeno a rilevarle. Credo pertanto che non si avrà difficoltà a riconoscere come una parte non trascurabile delle rovine dei fabbricati sotto l'effetto del terremoto sia dovuta a movimenti delle fondazioni.

### Rovesciamenti di elementi verticali.

E con questo potrei credermi autorizzato a ritenere esaurito l'esame degli sforzi e delle deformazioni producenti o permettenti la rovina delle costruzioni per causa delle scosse sismiche, ove io non avessi fin qui escluso sistematicamente il considerare possibile il rovesciamento di un elemento, e la caduta di certe parti per semplice allontanamento dei sostegni. Implicitamente il mio esame si è riferito ad un corpo elastico che ha ovunque un certo grado di resistenza a tutti gli sforzi che vi possono nascere, e che perciò può fratturarsi sotto un eccesso di sforzo, ma non abbattersi semplicemente per assoluta e completa inadattabilità a quello sforzo. Inoltre ho ritenuti tutti gli elementi collegati tra di loro, e perciò non staccabili gli uni dagli altri senza una frattura. Ora ciò molte volte non è già originalmente, o cessa di essere sotto l'azione di qualche prima frattura o di altra deformazione.

Vediamo quindi cosa può accadere quando i vari elementi non sono efficacemente trattenuti fra di loro, ma semplicemente poggiati gli uni sugli altri. Un elemento verticale, semplicemente appoggiato al piede e non ritenuto, od insufficientemente ritenuto alla sommità, può trovarsi, quando l'onda raggiunga una notevole ampiezza (specialmente per l'ingrandimento elastico), in posizione tale che la risultante dei carichi non incontri più la base d'appoggio, ma ne esca fuori. Allora quell'elemento non si spezza, ma si rovescia tutto in un blocco, perchè non essendovi momento che possa equilibrare quello generatosi, non esiste più equilibrio possibile. Naturalmente col rovesciamento di quell'elemento verticale vengono a mancare i sostegni a diversi elementi orizzontali, che di conseguenza dovranno cadere, trascinando seco nella caduta anche il rimanente.

Se poi l'elemento verticale appoggiato, ma non ritenuto, non ha carico molto grande, sì da generare una forza d'attrito sufficiente, può accadere che per semplice effetto della forza d'inerzia (tanto più se combinato colla flessione) esso eseguisca una traslazione sulla sua base d'appoggio: pericolo conseguente ne è la perdita o l'insufficienza dell'appoggio e la caduta dell'elemento con quella di tutto quanto ne veniva sorretto.

### Caduta di elementi orizzontali.

Ancora, se gli elementi orizzontali non sono ancorati ai loro elementi verticali di sostegno, può essere che questi, soggetti a fase d'onda diversa, si allontanino gli uni dagli altri nello stesso istante, sì che l'elemento orizzontale perda in tutto od in parte l'appoggio che aveva su di essi; cade allora, e spesso nel cadere spinge od urta gli stessi elementi verticali, provocando così altresì il loro rovesciamento. Basta talvolta un carico non molto grande che si svincoli dai sostegni e cada, per provocare la rovina di tutta una costruzione che senza di ciò si sarebbe sorretta; il primo solaio o volta incontrata da un trave di un tetto nella sua caduta, si sfascia tutto od in parte, cade sul sottostante, trascina questo a sua volta, e così giù giù nulla più vi resiste. Un fabbricato slegato nelle sue

parti in una regione battuta dal terremoto è come un castello di carte esposto ai soffi del vento.

#### **Rovesciamento del fabbricato.**

E finisco questo esame con un'osservazione: può ancora oltre tutto quanto già abbiamo passato in rivista esservi un'ultima causa di rovina: il rovesciamento di tutto il fabbricato in blocco, anche quando tutte le sue parti abbiano la resistenza opportuna, ma esso non sia ancorato, bensì posato sul terreno. L'ipotesi potrà sembrare assurda, ma tale non è; voglia considerarsi tra l'altro che possono essere indeclinabilmente necessarie anche in plaghe sismiche delle lunghe torri per semafori o per altre necessità assolute: ora non è a escludersi che per il già più volte citato ingrandimento elastico del moto, le oscillazioni terminali di tale torre raggiungano ampiezze tali, che la risultante dei pesi esca fuori della base d'appoggio, se non si è previsto e provvisto con un pesantissimo zoccolo che porti il baricentro del sistema molto in basso. Questa causa è però naturalmente una delle meno frequenti e probabili.

#### **Riassunto delle determinanti di una rovina.**

E finalmente riassumo: la rovina di una costruzione sotto l'azione di ripetute scosse sismiche può essere determinata:

da un'azione generica di disaggregazione e di disunione;

da fratture per sforzi di flessione, di torsione, di taglio, da schiacciamento per pressione, e da strappi per tensione, sviluppati nei vari elementi verticali, orizzontali o misti; rotture che rendono questi elementi inadatti al loro ufficio e perciò rompono l'equilibrio del sistema;

da fratture per incrementi dinamici degli sforzi statici esistenti nei vari elementi del sistema, fratture che, o provocano la caduta immediata di alcuni elementi, o staccano gli elementi gli uni dagli altri, pregiudicando la stabilità del sistema;

da cedimenti ineguali delle fondazioni, da inclinazioni e da dislocamenti delle stesse, alterando pure l'equilibrio del sistema;

da rovesciamento di elementi verticali isolati o staccati;

da liberazione dagli appoggi di elementi orizzontali non ritenuti;

da rovesciamento di tutto il fabbricato.

Non deve questo ponderoso lavoro di analisi produrre i proprii frutti?

Io lo spero e lo credo fermamente: e se vi ho trattiene a lungo su di esso, forse più di quanto fosse opportuno per non ingenerare stanchezza e tedio, lo feci perchè le conclusioni finali giungessero legittime e irrefutabili, dappoichè dovevano servire come base di dimostrazione all'affermazione che è insita nel tema del mio studio: e nello stesso tempo perchè questa minuta indagine doveva costituire la fonte cui attingere per fissare i criteri coi quali progettare la costruzione veramente stabile.

#### **Instabilità delle costruzioni murarie in genere.**

Colla scorta di quanto abbiamo veduto possiamo intanto affrontare subito uno dei principali argomenti: le costruzioni murarie comuni possono essere sicuramente stabili nelle regioni sismiche?

In linea assoluta si può rispondere a questa domanda affermativamente, ma in linea di pratica effettiva ritengo si possa in modo reciso rispondere negativamente. E ne espongo le ragioni. Anzitutto noi abbiamo rilevato che le scosse sismiche producono un'azione generale di disaggregazione: ora il materiale murario ha in sè, per la presenza delle malte e per la molteplicità degli elementi che concorrono a formarlo, una ragione per non essere il più adatto a resistere a questo intimo sforzo di disaggregazione. Certamente questo da solo non produrrebbe mai dannose conseguenze: ma considerato in relazione al tempo, alla ripetizione delle scosse ed agli altri sforzi non pare da trascurarsi.

In secondo luogo noi abbiamo visti in azione degli sforzi di flessione, di torsione, di taglio, di strappo e di schiacciamento. Ora il materiale murario di tutti questi sforzi resiste solo bene all'ultimo. Al taglio due soli mezzi ha di opporsi nei piani orizzontali dei giunti: la coesione delle malte (forza molto infida, specialmente dopo quanto si è detto sopra sulla disaggregazione), e la forza d'attrito. Ma quest'ultima non si sviluppa notevole se non vi è un forte peso, cioè una forte massa sovrastante: e gli sforzi taglienti sono appunto in proporzione diretta della massa sovrastante. Per tagli in piani verticali la forza d'attrito poi non ha azione sensibile, e resta sola a resistere la coesione delle malte oltre a quei pochi radiciamenti che non sempre esistono (benchè in una buona muratura non dovrebbero mai dimenticarsi), ma che in ogni caso si trovano solo sopra le aperture, lasciando slegate le parti inferiori più sollecitate.

Alla flessione pura e semplice non esisterebbe altra resistenza che la sopra incriminata coesione delle malte; onde non può farsi sicuro assegnamento che alla flessione in piani verticali, nei quali viene ad agire una forza di pressione che è una forza di gravità, cioè un peso; ed occorre che questa forza per l'equilibrio abbia una determinata eccentricità ed un valore piuttosto grande: onde forti spessori e forti masse: e per contro la flessione generata è proporzionata alla massa sovrastante.

Per la torsione, se trattasi di muratura di mattoni ben incrociati la resistenza è ancora discreta, mentre se si tratta di muratura in pietrame rotondo o minuto è molto relativa, ed affidata ancora alle malte.

Per lo strappo poi non vi è resistenza alcuna possibile, perchè l'adesione delle malte diviene di fronte a tale sforzo quasi inapprezzabile.

Pertanto non è possibile che garantire la resistenza a rovesciamento di tanti elementi verticali isolati, capace ognuno di reggersi di per sè, per la ragione già vista che i radiciamenti in legno od in ferro, o con gettate orizzontali, se possono segnare un miglioramento, non possono mai dare una vera garanzia sicura e calcolabile; ora è evidente che il dover assicurare la stabilità di ogni elemento a sè,

rende praticamente ineffettuabile un'altezza discreta fuori terra, e richiede degli spessori enormi, non pratici e costosissimi.

E tutto ciò non basta. Gli orizzontamenti nelle costruzioni murarie, o possono essere ancora di elementi murari, cioè volte, ovvero costituiti da solai in legno, od ancora da solai misti di ferro e di elementi murarii o lignei.

Ora per le volte stanno già tutte le ragioni dette pei muri, cioè nessuna resistenza a tensione e taglio, molto relativa a flessione e torsione: vi si aggiunge che per loro natura non possono avere imposte ampie sui muri, e perciò sono molto esposte a caduta appena i muri si allontanano alquanto: alla spinta originaria nel deformarsi aggiungono nuove spinte, onde facilitano il rovesciamento dei muri, in cui esigono pertanto una massa maggiore mentre esse stesse hanno una massa non disprezzabile.

I solai in legno (a parte ogni considerazione secondaria, ma non disprezzabile, dei molti inconvenienti che presentano per la comodità, per l'igiene e per la sicurezza agli incendi), potrebbero fornire un buon collegamento fra i muri, ma per ciò dovrebbero essere molto profondamente appoggiati ed ancorati nei muri, ed allora interrompendoli e frazionandoli ne diminuirebbero la stabilità; in linea generale insufficientemente appoggiati, e facili a deteriorarsi proprio a filo muro (per la differenza di aereamente nella parte fuoruscente e nella parte incastrante), sono quelli che più facilmente (ove non vigili un'oculata manutenzione) nella scossa si staccano dagli appoggi ed iniziano la rovina.

I solai a travi in ferro rappresentano di certo già un notevole miglioramento sui precedenti sistemi; a parte però il pericolo che rappresentano in caso d'incendio con inevitabile rovina dei muri, essi hanno il grave inconveniente che più o meno grande tra di essi va gettata una voltina che resta ben poco impostata (sulla sola ala inferiore del ferro a doppio T) e quindi facile a forarsi ad ogni urto forte, ed a cadere se nella scossa le poutrelles si allontanano; meglio si comportano se fra esse si eseguisce una gettata, o si copre con tavolame in legno: ma si ha sempre un solaio poco connesso nel senso perpendicolare alle travi.

Non parlo del solaio in cemento armato: esso può segnare un ultimo progresso: ma a qual prezzo se i piedritti non sono sicuri? Comunque si facciano gli orizzontamenti, mai si ottiene il monolitismo: la costruzione muraria è sempre un'aggregazione di materiali diversi che pur colle migliori regole d'arte mai si possono ritenere uniti; come può un tale sistema comportarsi bene di fronte a violenti scosse ed a cedimenti e spostamenti delle fondazioni, tanto più temibili che queste sono per loro natura slegate, e come può sperarsi in esso una resistenza complessiva al rovesciamento, se non limitandone straordinariamente l'altezza?

### **Realizzazione della stabilità col cemento armato.**

Vediamo per contro come possa il cemento armato comportarsi di fronte agli sforzi che abbiamo preso in esame.

È certo che un buon calcestruzzo coscienziosamente dosato e più coscenzio-

samente eseguito ha una grandissima resistenza alla disaggregazione. Ognuno di noi ha spesso constatato il carattere lapideo assunto da un buon beton dopo una conveniente stagionatura. Per il modo d'esecuzione del getto, per l'intimo collegamento assicurato dalla presenza dei ferri anche nei punti di ripresa dei lavori, dove meno perfetta riesce l'unione di una parte all'altra, si può essere sicuri che uno scheletro di cemento armato si comporta effettivamente come un grande monolite elastico al quale pertanto per eccellenza è applicabile la minuziosa indagine di sforzi che abbiamo fatta precedere. Ora questi sforzi noi li abbiamo riassunti in sforzi di pressione (ed è noto che un buon calcestruzzo, anche non armato, ha una resistenza quintupla di una buona muratura di mattoni), in sforzi di tensione e di taglio (e se ad essi non sarebbe in modo sicuro idoneo il calcestruzzo semplice, già però anche in ciò superiore alla muratura ordinaria, resiste però splendidamente l'interna armatura in ferro), in sforzi di flessione e di torsione (e sono note ormai a tutti le qualità straordinariamente felici che a tali sforzi oppongono ferro e calcestruzzo intimamente uniti).

Il cemento armato ha dunque possibilità di opporsi a tutti gli sforzi che in esso producono le scosse sismiche; l'evitare l'eccesso di faticamento, e le conseguenti fratture, sarà pertanto in nostra potestà, e ciò senza nè grandi masse, nè grande costo, per le elevate qualità resistenti dell'insieme.

L'evitare che gli orizzontamenti, possano facilmente staccarsi dai sostegni, è solo compito nostro; il sistema vi si presta egregiamente. Anzitutto l'incrocio, l'agganciamento dei ferri delle varie parti, ed il monolitismo del getto rendono difficili, direi quasi impossibili, gli scivolamenti od anche solo la liberazione delle giunture. In secondo luogo ci è facile prevedere e provvedere agli sforzi dinamici, ed a mezzo di mensole, o dei mille altri sistemi disponibili, creare un facile ed elegante aumento di resistenza in vicinanza degli appoggi. I cedimenti delle fondazioni hanno anche influenza meno dannosa, perchè la costruzione è elastica e consente perciò delle deformazioni senza rottura. Essi possono inoltre rendersi minimi, e di influenza minima, con opportune disposizioni che forniscano fondazioni ampie ben collegate, e, se occorre, delle vere platee o piattaforme per ogni fabbricato. Il rovesciamento completo dell'edificio, se questo non è erratamente progettato e costruito, riesce assolutamente impossibile, perchè, per forte che sia la scossa, non potrà mai fare uscire la verticale del baricentro dalla base d'appoggio, quando il peso è la base siano quelle di un intero edificio: non c'è da parlare di rovesciamento di alcune parti di un edificio, poichè nessuna parte deve essere lasciata isolata, ma dev'essere una membratura non isolabile della costruzione tutta.

Insomma, in parole povere, il cemento armato si presta splendidamente, e con sufficiente economia, a realizzare il concetto di formare i fabbricati come scatole poggiate sul terreno, il che, come riesce intuitivo, è quanto di meglio si possa ideare per resistere alle scosse di un terremoto; e nello stesso tempo si può dare ai fabbricati con esso costruiti il grado di stabilità che si desidera; la scatola che ne risulta può rendersi in modo agevole staticamente indeformabile, ma nello stesso tempo tutti i suoi collegamenti, e quindi essa stessa, restano elastici, ciò che in presenza di ra-

pide vibrazioni è ben superiore ad una rigidità assoluta. La costruzione con questo sistema consente ad ugual grado di stabilità un peso grandemente minore che non la costruzione muraria, e ciò, oltre che avvantaggia grandemente le fondazioni, la rende anche più facilmente resistente, perchè è chiaro che di fronte alle oscillazioni il pericolo è tanto minore quanto minore è la massa.

Come conseguenza logica di tutte le considerazioni fatte, di tutti i pregi rilevati, a prò del cemento armato sta ancora un vantaggio, grande assai, quasi capitale in questo momento in cui si tratta non di ricostruire delle capanne, dei villaggi, dei borghi, ma due intere città già popolose, già ricche, già fiorenti. Fino ad ora, tutte le volte che si esposero delle norme per costruzioni resistenti ai terremoti, la prima essenziale raccomandazione fu di costruire case basse, col solo piano terreno, o tutt'al più con un primo piano solamente. E ciò è logico ed è giusto, quando si tengano presenti le costruzioni murarie specialmente, ed anche le costruzioni in legname, che non realizzano facilmente una molto elevata resistenza. Ma non è più strettamente vero per il cemento armato, che dispone di resistenze ben grandemente superiori. Ed io mi credo pienamente autorizzato e giustificato da quanto sopra vedemmo, a sentenziare che l'altezza di un fabbricato in cemento armato non occorre, per poter realizzare la stabilità, sia limitata in modo assoluto, bensì in relazione colla ampiezza della base. In linea generale quindi si potranno stabilmente costruire con piante opportune fabbricati a più piani, e di conveniente altezza, quali esigonsi in una città, sia per il valore dei terreni, sia per l'importanza degli edifici pubblici, sia per la necessità del progresso; l'altezza del fabbricato in cemento armato sarà solo limitata dalla ampiezza e forma della pianta, e dalla convenienza economica, non dalla sicurezza, sempre assicurabile con intelligenza di progetto e coscienza d'esecuzione.

### **Constatazioni pratiche della stabilità sismica del cemento armato.**

Sono queste conclusioni così ardite ed importanti, ma legittimate da ragionamenti strettamente scientifici, confermate altresì dalla realtà pratica?

Pochi purtroppo sono, almeno a mia conoscenza, gli elementi di esperimento pratico completo che possano citarsi pro o contro il cemento armato nei rapporti del terremoto. Però, se esaminiamo non il fenomeno nel suo complesso, ma nelle separate sue estrinsecazioni, certo già un numero considerevole di prove testa in favore di tal sistema.

È nota l'elasticità grandissima di esso: infiniti sono gli esempi che si potrebbero citare di elementi a cui per esperimento si fecero sopportare sforzi enormi, si fecero assumere deformazioni impressionanti, e che lasciati liberi sono ritornati pressochè alla posizione primitiva: in particolare molti di voi sanno come dei pali di cemento armato, infissi verticalmente nel suolo, abbiano potuto essere assoggettati a tensioni orizzontali od inclinate fortissime, venire inclinati di angoli alla verticale molto pronunciati, senza per ciò rovinare non solo, ma riaccostandosi lentamente alla posizione verticale primitiva quando cessava lo sforzo di tiro; la rilevante

elasticità e deformabilità del cemento armato è oramai consacrata in infiniti documenti ufficiali.

Numerosi sono pure gli esempi di resistenza agli urti; innumerevoli sono i solai che sottoposti alle scosse continuate di macchine poderose si reggono da anni senza affaticamento; credo che parecchi di voi avranno avuto occasione di constatare un fatto tutt'altro che raro: un grosso trave del tetto, un getto ornamentale, un carico qualsiasi, sfuggito dalle mani degli operai e caduto da un'altezza ragguardevole, sì che indubitatamente avrebbe forati e rovesciati una volta muraria, un solaio in ferro od in legno, venne invece trattenuto dal solaio in cemento armato, che screpolato, ingobbato, si sostenne sorreggendo anche il carico. I giornali tecnici hanno già più volte registrata la felice resistenza straordinaria del cemento armato addirittura alla caduta di un intero solaio sovrastante. Per mio conto ho constatato, in occasione di una tristissima sciagura accaduta anni or sono nel nostro Piemonte, una resistenza eccezionale del cemento armato: di quattro campate di sheds costrutte con tale sistema, tre vennero trascinate nella rovina di un fabbricato perchè vennero a mancare loro le basi di appoggio dei relativi pilastri; la quarta, i cui sostegni non crollarono, resistette allo strappo violentissimo esercitato dalle parti cadute, e resistette senza una fenditura, nettamente tagliata in corrispondenza del canalone di conversa, lasciando pendere, completamente denudati dallo sforzo, tutti i ferri che la collegavano col restante del fabbricato!

Infine, ad attestare il monolitismo dello scheletro in cemento armato e l'ottimo suo comportamento di fronte ai movimenti provenienti dalle fondazioni, sta un fatto così caratteristico che venne persino riportato da un noto periodico illustrato: a Tunisi un grosso fabbricato industriale interamente di getto armato, fondato su terreno melmoso, per cedimento ineguale del terreno stesso s'inclinò tutto su di un lato fino a raggiungere uno strapiombo dal cornicione alla base di circa tre metri, e ciò senza alcuna fenditura nella sua ossatura; e poté con scavi opportuni essere riportato perfettamente sulla verticale senza alcun inconveniente.

Separatamente dunque venne già provato l'ottimo comportamento del cemento armato di fronte alle principali cause di rovina delle costruzioni per scosse sismiche; forti oscillazioni, urti, cedimenti delle fondazioni. Si dispone anche di qualche constatazione complessiva?

Il grandioso terremoto di S. Francisco del 1906, susseguito come al solito da violento incendio, dimostrò le ottime qualità dei fabbricati costrutti in cemento armato o di quelli che, se non possono strettamente dirsi in cemento armato, sono però basati sugli stessi concetti, cioè risultano da uno scheletro in ferro rivestito di calcestruzzo; mentre dimostrò in generale l'opposto per quelli in ferro rivestiti di materiale di cotto. Io ebbi sott'occhi, in una pubblicazione fatta da un noto tecnico italiano specializzato nelle costruzioni in cemento armato, delle copie di impressionanti fotografie dove accanto a rovine di fabbricati diversi si presentavano due vedute di fabbricati in cemento armato che resistettero magnificamente a tale terribile terremoto, l'una raffigurante un palazzo apparentemente intatto, l'altra due costruzioni gravissimamente inclinate alla verticale, ma evidentemente resistenti.

Fatti analoghi del resto furono riferiti da tutti i giornali tecnici.

La nuova recente sciagura, sebbene, non ancora perfettamente studiata, non ci dia per ora quelle preziose notizie che potrebbe fornirci, pure qualche cosa ci dice di utile. Per intanto sappiamo che il paese di Favelloni Piemonte, costruito dopo il terremoto di Calabria del 1905 dal nostro Comitato Piemontese con case aventi scheletro in cemento armato, ha resistito alle scosse attuali, che pure furono di una certa entità; gli unici inconvenienti avutisi furono la caduta di muricci di mattoni a chiusura interna degli ambienti, che, esclusi nello studio di progetto, dovettero poi eseguirsi così per ragioni finanziarie. È vero che si può obiettare che la scossa a Favelloni non dovette raggiungere l'intensità massima perchè già alquanto lontana dall'epicentro, e che quindi l'esperimento non si può dire completo.

Più concludente, anzi assolutamente decisivo, sarebbe un fatto che fino ad ora risulta solo dalle corrispondenze dei giornali quotidiani (epperò, sia detto senza malignità, non può aver carattere indubitabile di esattezza tecnica), ma fu ripetuto con certa concordia, e non venne mai smentito. Riporto testualmente dalla *Stampa* del 3 gennaio una frase di una corrispondenza da Messina alla *Tribuna* dopo un lungo elenco di complete rovine: « Quattro o cinque case in cemento armato sono « rimaste senza una sola fenditura, e fa un senso curioso il vedere queste case con « affreschi che sono superstiti fra tanta rovina ». Quale prova più convincente? Se queste quattro o cinque costruzioni, forse neppure ideate coi caratteri particolari che si richiedono per una sicura resistenza al terremoto, sono rimaste illese in mezzo alla generale rovina, che cosa non dovrà essere di costruzioni razionalmente eseguite in previsione di così immani cataclismi? Non insisto per ora ulteriormente su questo fatto, di cui non mi sembrano sufficientemente appurate le circostanze; ma mi auguro che la notizia sia confermata non solo, ma corredata di tutte quelle osservazioni complementari che servano a portare maggior copia di elementi di sicurezza. Aggiungo solo che da una pubblicazione periodica italiana apparsa assai tempo dopo il disastro risulta in più specificato che a Messina resistette la stazione al Porto, a Reggio pure la stazione, a Villa S. Giovanni ancora la stazione, a due piani, benchè fortemente lesionata, e ciò malgrado che in questi fabbricati il cemento armato fosse impiegato solo a costituire i solai, senza speciale riguardo alle scosse, ma in forma normale. Tanto può l'azione di collegamento che il sistema raccomandato può esercitare!

### Vantaggi secondari del cemento armato.

Ma non alla sola resistenza momentanea, immediata, al momento della scossa, si limitano i vantaggi della costruzione in cemento armato. Mentre la costruzione muraria nasconde in generale i segni della sua debolezza, e dopo essere rimasta per qualche tempo in equilibrio instabile, rovina poi inaspettatamente in un attimo, la costruzione in cemento armato subisce prima di rovinare deformazioni enormi, subito appariscenti all'occhio, e lesionata gravemente, fessurata, spaccata, regge ancora dei carichi notevolissimi senza cadere.

Quando i ferri che ne costituiscono le nervature non funzionano più in unione al calcestruzzo come elementi di travi eterogenee, pure, se bene e sufficientemente ancorati, funzionano sempre come tiranti; ed ognuno sa quale grande resistenza oppongano ancora in tale forma prima di strapparsi definitivamente. Difficilmente si avranno quindi cadute improvvisi, immediate o susseguenti alla scossa, spesso altrettanto funeste della caduta istantanea, perchè la prima resistenza dimostrata inspira spesso una fiducia relativa negli abitanti, che li induce a trattarsi.

E non solo per la stabilità sono vantaggiose le costruzioni in cemento armato di fronte al terremoto; ma altresì per un vantaggio secondario di importanza però ragguardevolissima: l'incombustibilità. Tutti indistintamente i grandi terremoti furono sempre seguiti da vasti incendi: e la ragione del fatto è così evidente che non mette conto l'insistere. Ora nessuna delle costruzioni attualmente in uso resiste così bene al fuoco più intenso come il cemento armato. Non insistiamo sui numerosissimi esperimenti appositamente istituiti per constatare così felice proprietà: lasciamo anche qui parlare i fatti. Nulla vale per grandiosità ed evidenza l'involontario ma colossale esperimento costituito dall'immenso incendio di Baltimora del 1904; la massima parte della città fu distrutta: le case in muratura, in ferro, di ogni tipo, crollate sotto la violenza delle fiamme, che sgretolava le malte, screpolava i mattoni di cotto: soli, nel bel mezzo del focolaio dell'incendio, resistettero tre fabbricati in cemento armato: uno di questi, anzi, che aveva il perimetro in muratura, malgrado il crollo e l'annientamento di tale sostegno perimetrale si resse unicamente sostenuto dai sostegni interni.

### Risposta all'obiezione relativa al peso del cemento armato usato per parti elevate dei fabbricati.

Sorvolo sui numerosi pregi del cemento armato che non interessano in modo particolare le regioni sismiche; del resto essi sono oramai così noti che sarebbe vano il ripeterli. Rispondo solo ad un'obiezione che già mi venne rivolta spesso su di questo argomento. « Checchè si dica — mi venne osservato — un buon solaio in cemento armato ha sempre un peso ragguardevole, triplo di un solaio in legno: lo sforzo di rovesciamento dei piedritti è proporzionale alla massa dei solai sorretti; quindi sarà consigliabile il cemento armato per una buona platea di fondazione, ma non per delle masse in elevazione, che si deve mirare a rendere il più leggere possibile ». Ebbene no, rispondo, il ragionamento non regge. Non regge perchè si perde di vista che anche per un elemento isolato inflesso, il maggior carico non agisce solo col produrre aumenti di sforzi, ma è altresì un utile elemento di stabilità al rovesciamento in solidi prevalentemente resistenti a compressione. Non regge essenzialmente perchè non è punto necessario di avere delle costruzioni leggere, ma delle costruzioni stabili: onde se si possono agevolmente fare dei sostegni verticali che siano stabili anche per uno sforzo maggiore, ci si troverà nelle equivalenti condizioni delle costruzioni leggere. Non regge, perchè esso è implicitamente basato sulla considerazione di sostegni verticali isolati, cui è sempre piccola la stabilità: ma perde valore se si considerano sostegni verti-

cali ben collegati, per esempio dei tralicci, di resistenza a flessione grandissima, per i quali quindi non produce nemmeno sensibile aumento di costo la triplicazione dello sforzo.

Sola influenza notevole della maggior massa dei solai in cemento armato in confronto di costruzioni leggere potrebbe quindi essere quella economica. Ma oltrecchè per problemi di questa importanza, di fronte alla sacra vita umana, la ragione della stretta economia non dovrebbe avere peso preponderante, io credo che di fronte ad una razionale costruzione basata su altri sistemi, quella in cemento armato debba ancora avere il pregio di un minor costo: e ciò tanto più sensibilmente quanto maggiore è l'importanza della costruzione.

### Paragone con altri sistemi costruttivi.

E qui si presenta spontanea una nuova obiezione: non vi sono altri sistema costruttivi che risolvano, o meglio, od egualmente bene, il problema della stabilità sismica?

Il rispondere minuziosamente a questa domanda mi trascinerrebbe troppo lontano di ciò che non mi sia consentito in questa trattazione che già si prolunga assai, non per colpa mia, ma per l'importanza e la complessità dell'argomento. Pure mi paiono opportune alcune parole. Ho esclusa, per convinzione, la costruzione muraria ordinaria: crederei però di essere partigiano se non riconoscessi la possibilità di ottenere risultati buoni con altri sistemi che non siano il cemento armato: anzi, non ho difficoltà a dire che posso anche comprendere come in alcuni casi si debba per considerazioni speciali dare la preferenza ad altro metodo di costruzione. Pure, dei due principali materiali che possono seriamente proporsi in luogo del cemento armato, il legname ed il ferro, e dei quali tutti gli altri sistemi sono dei derivati più o meno diretti, io vedo alcuni inconvenienti essenziali che non esistono nel cemento armato, e che mi pare doveroso il segnalarvi.

La costruzione in legname presenta anzitutto un carattere di precarietà poco compatibile colle esigenze moderne di una costruzione. Vero è che esistono nei vecchi castelli degli ammirabili solai ultrasecolari, ma, osservato anzitutto che non si trovano più attualmente quei legnami così stagionati e sani di una volta, o che sono costosissimi, rileveremo ancora che la conservazione di una vera ossatura, esposta più o meno all'intemperie esterne, infissa in parte nelle fondazioni, in diverse condizioni di aereamento e di umidità, è molto minore di quella del solaio, che cause diverse tendono a conservare maggiormente. Difficilmente poi una costruzione in legname si presta bene alle molteplici comodità che ognuno cerca in un fabbricato moderno: l'adattarvela è possibile, ma a scapito della semplicità e della economia. Inoltre il vero monolitismo in essa non esiste: l'unione delle varie parti è unicamente raccomandata ad incaltrature e chiodature, fatalmente condannate ad allentarsi col tempo, per il restringimento dei legnami, per le variazioni di temperatura, e per le deformazioni elastiche del materiale sotto l'azione dei carichi. Finalmente, nella costruzione in legname è insito un pericolo gravissimo:

l'incendio. Che cosa vi è di più facile di un incendio in una regione soggetta a scosse di terremoto? Basta una lampada che oscilli, un tizzo acceso che rotoli a terra, per incenerire una casa, talvolta un villaggio.

La costruzione in ferro difficilmente può da sola realizzare una costruzione completa, senza produrre un costo elevatissimo. Se si associa alla muratura, si assume almeno in parte i difetti di questa; se al legname, le si estende il pericolo d'incendio, tanto più grave che oramai è sfatata la leggenda che lo scheletro in ferro resista bene al fuoco, anzi si sa che produce ancora più facilmente del legname la rovina per deformazione. Ha una sonorità assolutamente insopportabile, trasmette con immensa facilità il calore: le oscillazioni vi restano ampie, rapide e frequenti, e spesso generano la cristallizzazione del ferro. In ogni caso poi non realizza mai la costruzione monolitica, e in essa si avranno delle parti meno stabili di altre, ciò che nel terremoto è pericoloso assai, perchè le seconde si staccheranno dalle prime. Puro, o misto con altri materiali, il ferro conserva un nemico potentissimo, la ruggine pronta ad annidarsi nelle parti meno facilmente visitabili e più vitali in questo caso: le chiodature, gli incroci, le unioni; che se poi, ad evitare gli inconvenienti citati, il ferro si riveste di calcestruzzo, si fa in realtà del cemento armato, di un tipo primitivo, col solo aggravio di un inutile costo.

### Criteri da seguirsi nelle costruzioni in cemento armato per regioni sismiche.

Dovremo come conclusione di tutto quanto precede dire che basti costruire in cemento armato per avere una costruzione stabile? Evidentemente no: la illazione sarebbe eccessiva ed illogica. La deduzione logica di quanto precede è solamente che il cemento armato è un materiale adattissimo per ottenere una costruzione stabile ove lo si voglia e si sappia razionalmente adoperare. E crederei di trattare insufficientemente il tema prescelto e d'abbandonarlo nel punto culminante, s'io non esponessi almeno sommariamente i concetti ch'io ritengo debbano guidare il progettista nello studio di un edificio da erigere con tale sistema in regioni soggette a terremoti. Non avremo che a seguire ordinatamente la fatta indagine sugli sforzi generati nella costruzione, per ricavare chiari ed espliciti i principii da rispettare, le norme da seguire.

#### Dosatura.

Per contrapporsi al lavoro di disaggregazione è intanto subito evidente che occorre un'ottima presa del calcestruzzo. Dovrà quindi per prima cosa badarsi alla dosatura in cemento dell'impasto. Qui mi pare che sarebbe a consigliarsi una dosatura più elevata di quanto non si usi consuetudinariamente; due sarebbero essenzialmente i vantaggi: maggiore resistenza di aggregazione, ed a parità di resistenza agli sforzi esterni, minor massa della costruzione. Ciò ritengo però più consigliabile per gli orizzontamenti, che non per i sostegni verticali, in cui una maggior dimensione non nuoce, ma migliora la stabilità. Ad ogni modo escluderei che si possano

adottare dosature reali effettive inferiori alla classica di 300 kg. di cemento (e ben inteso di buon cemento) per me. di impasto in opera; non credo ammissibili in costruzioni di questo genere calcestruzzi meno che ottimi.

#### **Disposizioni per sostegni verticali.**

Per l'effetto multiforme (non di sola flessione) delle scosse ondulatorie negli elementi verticali, io credo in linea generale pochissimo consigliabili i sostegni verticali isolati. Non ch'io voglia in realtà proscrivere i pilastri semplici da solaio a solaio; ma non ritengo prudente affidare ad essi tutta la stabilità della costruzione. È verissimo che, quando, in base all'accelerazione massima presumibile nel moto ondulatorio, si sappiano apprezzare esattamente gli sforzi generati sul pilastro, è sempre teoricamente possibile dargli la stabilità conveniente. Ma io credo che questa possibilità teorica non sia facilmente traducibile in possibilità pratica ed economica, ove si voglia coscienziosamente stare ad una conveniente distanza dai carichi di rottura dei materiali. Ad ogni modo, se sapremo sempre con dimensioni e forme convenienti assicurarci la resistenza alla flessione, potremo noi sufficientemente premunirci contro l'enorme sforzo tagliante prodotto dall'istantaneità del moto e dalla sua rapidità? Io so che il ferro reagisce bene e prontamente a flessione, ma può spezzarsi sotto un colpo molto brusco, specie se, come nel nostro cemento armato usuale, si tratta di ferro colato, assai più prosimo per qualità all'acciaio, che non al ferro fibroso.

In una costruzione poi raccomandata a soli pilastri isolati, basta che uno solo di questi, magari per pura deficienza d'esecuzione, ceda, perchè tutto il rimanente finisca col rovinare con esso: mi si dirà che in generale il progettista non deve prevedere questi difetti esecutivi, ma deve esservi chi sorvegli perchè non avvengano: ma io replico che nelle condizioni eccezionali del caso in esame tali fatti non vanno dimenticati, perchè umani e possibili. Per queste ragioni, anche quando la necessità pratica richieda pilastri isolati, io ritengo conveniente l'introdurre ad opportuna distanza degli elementi (pilastri collegati da traliccio verticale) aventi una grandissima resistenza a sforzi orizzontali: il monolitismo stesso del solaio, od opportuni collegamenti, riporteranno a questi sostegni ultra resistenti lo sforzo eccedente la resistenza dei pilastri isolati. Questi tralici possono disporsi nei muri perimetrali e nei muri trasversali: il meglio sarà se possono realizzarsi con diagonali; ma anche delle semplici intelaiature di travi verticali ed orizzontali, magari interrotte in corrispondenza di porte o finestre, ma cogli incroci molto robusti ed irrigiditi, potranno sostituire le diagonali inapplicabili. I tralici dovranno essere disposti sempre in due direzioni perpendicolari, onde la resistenza orizzontale possa sussistere in ogni direzione.

I sostegni verticali, di qualunque natura o forma siano, vanno molto solidamente legati ed irrigiditi col solaio e colla fondazione, armati in modo da avere notevole resistenza a flessione, e mentre ordinariamente in essi i collegamenti orizzontali entro il getto non hanno altro scopo oltre quello di fasciatura, qui dovranno provvedere ad ingenti sforzi di taglio.

Nei solai poggiati in parte su pilastri isolati, ed in parte su sostegni molto robusti, converrà sfalsare i giunti dei ferri in modo che solo una parte di essi venga a corrispondere ai pilastri isolati: così se anche uno di questi pilastri viene in parte o totalmente a mancare, è possibile al solaio di reggere, almeno per qualche tempo, per la resistenza dei ferri continui.

#### **Disposizioni per orizzontamene.**

Gli elementi orizzontali dovranno essere progettati resistenti a dei carichi che si sa non essere statici sempre, ma poter diventare dinamici: per di più gli sforzi ad essi proprii dovranno essere aumentati di quelli che per irrigidimento loro trasmettono gli elementi verticali anche solo sotto l'influenza di un moto ondulatorio. Il curare quasi esclusivamente la resistenza dei solidi verticali, come molti fanno affrettatamente, è vedere una sola delle molte facce del problema: forse la principale e la più saliente, ma non l'unica, e non scindibile dalle altre. Singolare importanza dovrà essere attribuita in tutti gli elementi orizzontali agli sforzi taglianti, la resistenza ai quali è una incognita grave sempre, gravissima qui per l'applicazione improvvisa delle forze. Ogni solaio inoltre dovrà costituire un colossale controventamento dei sostegni verticali; onde esso dovrà contenere ferro apposito oltre quello necessario alla consueta stabilità, o dispositivi speciali onde poter rispondere a tale ufficio. Nel caso in cui i sostegni molto resistenti siano alternati con quelli più deboli, dovrà prendersi in particolare considerazione l'azione di trasmissione di carichi orizzontali che il solaio dovrà esercitare da questi a quelli. L'ancoramento dei ferri nel calcestruzzo non dovrà essere affidato solo all'aderenza del calcestruzzo od a semplice allargamento dell'estremità dei ferri a coda di rondine; ma a robuste uncinature, e, se del caso, a veri occhi trattenuti da sbarre trasversali.

La continuità dei ferri, la trasmissione degli sforzi dall'uno all'altro, invece che solo a mezzo del calcestruzzo, per le sbarre importanti sarà bene venga realizzata con unioni ad intreccio, o con agganciamenti robusti. E ciò perchè, mentre di consueto non interessa più al costruttore il periodo di sfasciamento, qui esso ha singolare importanza, perchè la resistenza del ferro, anche nello sfasciamento dell'opera, può ancora riuscire a salvare qualche esistenza umana.

#### **Riprese dei lavori e margine di stabilità.**

Bisognerà anche avere speciale riguardo alle riprese dei lavori, e poichè è noto essere difficile che in esse il calcestruzzo nuovo s'attacchi al vecchio, si dovrà provvedere con tronconcini di ferro sparsi sulla superficie di distacco, con un conveniente attacco nel getto fatto ed in quello a farsi.

In linea generale poi, e per la natura dinamica degli sforzi, e per l'incertezza della loro stima, credo consigliabile una riduzione dei carichi di sicurezza usuali: ciò naturalmente senza un eccesso che sarebbe inutile, anzi dannoso, perchè ogni eccesso in un senso provoca una reazione in senso inverso, e dei margini fissati

troppo bassi indurrebbero la trascuratezza dell'esecutore. Ora, più ancora che dal margine stabilito nei calcoli, la buona riuscita di un'opera dipende dalla coscienza dell'esecutore.

#### Disposizioni per le fondazioni.

Una parte della costruzione da curarsi sommamente è la fondazione. Per mio conto, l'ho già detto implicitamente, credo meglio ideare la costruzione come posata sul suolo che come irrigidita con esso. Chi consiglia che la fondazione costituisca un vero ancoramento nel suolo più che un appoggio, parte del concetto della maggior resistenza al rovesciamento e della minor amplificazione elastica del moto. Ma quest'ultima ha maggiore azione sul moto sussultorio che sull'ondulatorio, mentre dopo tutto per una costruzione ben fatta da maggiori sforzi il secondo che non il primo: e poi chi garantisce che l'ancoramento continui a sussistere sotto l'effetto della scossa ondulatoria che tende ad ingrandire ad imbuto i pozzi di fondazione? Per il rovesciamento del resto, io credo più sicuro partito affidarne la resistenza alla base del solido sufficientemente ampia e sufficientemente pesante, in modo che la risultante cada sempre entro di essa. Io mi pronuncio quindi nettamente per fondazioni piuttosto superficiali che molto profonde, anche per non rendere incoerente il suolo con perforazioni troppo numerose e molto ampie. Non escludo le fondazioni separate, tutte le volte che il terreno è sufficientemente solido e compatto, di guisa che basti un blocco od una piastra di fondazione non molto ampia per assicurare la stabilità pure con un margine ragguardevole; ma anche in questo caso ritengo strettamente necessario un buon traliccio orizzontale che controventi le une colle altre tutte queste fondazioni isolate. Trovo qui una ragione di più per consigliare l'uso di tralicci verticali; se infatti una fondazione isolata cede alquanto più che un'altra, l'azione del traliccio si esercita diminuendo il carico su questa fondazione e distribuendolo sulle altre, perchè il solido ha una grande rigidità contro cedimenti verticali; invece se tali tralicci non esistono, tutti i sostegni corrispondenti a quella fondazione cedono di una quantità corrispondente, e nei solai nasce un dislivello non favorevole certo alla stabilità. Un altro benefico effetto esercitano questi tralicci verticali sulle fondazioni; i momenti flettenti assunti da tali tralicci si trasmettono alle fondazioni non in corrispondenti flessioni con pressioni triangolari alternate sul terreno, ma per caduna fondazione in uno sforzo di compressione o di tensione alternativa, di conseguenza ben meno dannosa; non senza notare che questo sforzo di compressione o di tensione dovuto alla flessione, pel grande braccio della coppia resistente, sarà sempre relativamente piccolo.

Nel caso invece che la resistenza del terreno sia piuttosto limitata, converrà adottare una platea unica, massiccia, od una vera piattaforma nervaturata. La scelta fra questi ultimi tipi non può essere consigliata che da ragioni particolari caso per caso; potrà convenire la platea di spessore unico, massiccia, ogni qualvolta si avranno rilevantissimi carichi da distribuire, od una forte massa da formare alla base per garantirsi contro il rovesciamento; una piattaforma nervaturata per

carichi minori. In quest'ultimo caso può domandarsi se sarà meglio il fare le nervature rivolte verso il basso, o verso l'alto; le prime possono essere consigliate talvolta da ragioni economiche, ma in linea generale saranno più consigliabili le seconde che rendono la superficie d'appoggio un piano unico. In tutti i casi non bisognerà illudersi di poter progettare la platea o piattaforma per una distribuzione uniforme dei carichi: bisognerà tenere ben presenti, e per stabilire l'ampiezza della piattaforma, e per stabilirne la resistenza dei vari elementi, gli sforzi di flessione trasmessi dagli elementi verticali singoli e la tendenza al rovesciamento dell'opera completa.

#### Disposizioni per il rivestimento dello scheletro.

E con questo noi abbiamo visto quanto di più interessante deve aversi presente per l'ideazione dello scheletro costruttivo. Poche parole sugli elementi di rivestimento dello scheletro, cioè cortine di chiusura perimetrale e tramezzi di separazione interna.

Per il perimetro io credo consigliabile un getto di una soletta verticale (naturalmente della debita resistenza e nervaturata se del caso), occorrendo sempre che vi sia verso l'esterno una parete resistente, sia per la sicurezza degli abitanti, che per le intemperie esterne, e per la trasmissione termica. Cattivo partito ritengo in costruzione di questo genere il chiudere l'intelaiatura o con muricci di mattoni, o con blocchetti in calcestruzzo; gli uni e gli altri sono elementi che male si comportano alle scosse, e possono con una relativa facilità uscire dall'intelaiatura e rovesciarsi procurando disgrazie. Nel caso che una semplice soletta di getto non basti per la trasmissione termica dall'esterno all'interno e viceversa, si realizza facilmente una camera d'aria col getto di una seconda soletta, o applicando ed inchiodando contro apposite nervature dei fogli di lamiera stirata, poi rivestiti di malta bastarda e rinzaffati.

Per i tramezzi interni potranno ancora eseguirsi una o due solette verticali di getto, o più economicamente si potrà fare un'intelaiatura di travi di getto, ed applicarvi su una o due faccie dei fogli di lamiera stirata, rivestita come sopra.

Quando nei solai occorre la camera d'aria, il meglio sarà eseguirla con due solette, entrambe di getto; sconsigliabile sarà l'uso dei tavelloni applicati inferiormente, siano essi di cotto od armati; meno sconsigliabile l'uso di tavelloni armati superiori ove siano robusti, e ben uniti con una gettata generale sovrastante, o con agganciamenti in ferro degli uni agli altri. Non sarà neppure da proscriversi l'uso dei plaffoni in lamiera stirata, purchè accuratissima la loro inchiodatura, ed assicurato con staffe in ferro il sostegno dei listelli alle nervature di cemento armato. Non sto a fermarmi su dettagli secondari: i cornicioni molto sporgenti saranno da evitarsi o da curarne in modo particolare la stabilità; le balaustre dei terrazzi non dovranno essere solo appoggiate sul sostegno, ma fissate con staffe di ferro: le parti ornamentali dovranno essere poco sporgenti e ben ancorate con ferri passanti, o meglio ancora fissate nel getto durante la sua esecuzione; insomma nessuna parte dovrà essere mobile od agevolmente rovesciabile, perchè la più insi-

gnificante caduta può essere il principio di una rovina. Le scale in particolar modo dovranno essere molto salde, e perciò esclusi gli scalini in sbalzo, ed obbligatoria l'ossatura in cemento armato, sorretta da travi o pilastri secondo i casi.

### Altezza e pianta della costruzione.

Resta per ultimo a considerare la stabilità al rovesciamento dell'intera costruzione. Mi sono già pronunciato sulla possibilità di eseguire edifici discretamente alti, ma aggiunti la limitazione di tale altezza in dipendenza all'ampiezza e dalla forma della pianta. Ciò è tanto chiaro che non ho bisogno d'insistervi. Credo invece che meriti l'aggiungere che i criteri statici della forma della pianta sono dello stesso genere di quelli che consigliano la forma di una sezione resistente a flessione. Saranno pertanto a sconsigliarsi le piante rettangolari allungate, perchè, mentre presentano una grande resistenza in un senso, l'hanno limitata nell'altro. Se si fosse certi che il moto avvenisse sempre in un senso potrebbe suggerirsi la sezione a doppio T, coll'anima nella direzione del moto: ma poichè ciò non può essere, essa non sarà consigliabile, a meno che l'anima abbia dimensione non molto lunga, e le ali abbiano un opportuno spessore. Fra le piante più indicate dovranno considerarsi le piante quadrate, piene o meglio ancora con un quadrato interno formante cortile; le piante triangolari, le piante esagonali, ed ottagonali, piene o meglio ancora cave. Nel caso in cui la zona di terreno allungata obblighi ad una pianta di gran fronte, converrà almeno rinforzarla dalla faccia opposta con avancorpi formanti costole. Potrà in qualche caso, se il terreno è solido e suscettibile di essere caricato notevolmente, farsi uno scavo, eseguire una platea ben collegata alla costruzione, e caricarla di pietrame a secco per portare il baricentro della costruzione molto in basso. Non bisognerà ad ogni modo mai dimenticare che qualsiasi considerazione economica deve cedere il passo alle considerazioni di sicurezza, e quindi se la pianta non lo consente, il fabbricato dovrà essere basso, perchè, con qualunque natura del terreno, sarebbe un'imprudenza affidare la stabilità al rovesciamento dell'edificio alla sola infissione nel terreno come si fa di un palo, poichè ciò, legittimo in paesi sicuri dai terremoti, sarebbe pericoloso dove vi siano a temere scosse ondulatorie e sussultorie.

### Enunciazione di formule.

Non tento neppure di tradurre in formule i concetti generali da me esposti. Anzitutto, perchè le formule mal si addicono ad un'affrettata esposizione orale, e meglio si convengono alla quieta meditazione del tavolino; secondariamente perchè l'assunto non è agevole, e me ne sarebbe mancato il tempo, qualora mi fossi proposto, come sarebbe mio intendimento, non di cercare l'espressione di alcuni degli sforzi generati in alcuni singoli elementi, ma di considerare il problema in tutta la sua grande complessità. È fatica ardua certamente questa. E forse parecchi obietteranno che poco utile può rappresentare lo studio fatto, se, riconosciuta la natura di uno sforzo, non si sa proporzionarvi le membrature dell'edificio. Ma

io rispondo vittoriosamente che nota la natura dello sforzo è fatto il passo principale verso la creazione della resistenza relativa; alla peggio sarà questione di proporzione e di tentativi. E poi, ripeto, la ricerca dei veri e completi criteri di calcolo è fatica ardua, ma aggiungo che non è insuperabile; la difficoltà prima o poi verrà debellata in tutto o nelle sue parti più sostanziali.

Egredi Colleghi, io sono al termine del mio dire; finisco meno ancora per deficienza di argomento, che per non abusare oltre della vostra cortese attenzione, la quale fedele mi ha seguito fin qui. Di essa io vi ringrazio di pieno cuore, benchè non mi nasconda che l'attenzione, l'indulgente pazienza vostra fu dovuta più all'importanza dell'argomento che non all'abilità della mia parola. Finisco esprimendo un augurio, un voto: che questo mio povero studio serva ad invogliare altri ad integrare con concezioni di maggior valore la trattazione di un quesito ch'io intendo solo di aver iniziata, e che una dotta discussione della vostra assemblea ricavi dal lavoro dei singoli quel concetto sintetico la cui applicazione deve segnare un passo importante nel progresso della civiltà.

Una recente legge ha statuita la formazione di due Commissioni, l'una geologica, l'altra tecnica, per fissare i criteri coi quali dirigere il rinascere di due intere regioni. Lasciate ch'io mi compiaccia grandemente come d'un onore che ridonda alla nostra Società, dell'aver il Governo chiamato a far parte della Commissione tecnica il nostro amato ed illustre Presidente, professore Reycend, il consocio Ing. Pietro Fenoglio, ed il Socio corrispondente Prof. Panetti. Certamente i tecnici insigni chiamati a comporre tale Commissione, illustrazioni della scienza, od autorevoli professionisti, hanno vastità di intelletto e copia di elementi per decidere sul partito più opportuno. Ma concedetemi il dire, che in problemi di tanta ampiezza e di così vitale importanza, nessun aiuto per quanto modesto è disprezzabile. Alla Commissione tutta, ai nostri tre Consoci in particolare, non sarà certo discaro avere il vostro parere su questo argomento. Dal cozzo delle idee scintilla la verità. All'opera dunque. L'argomento è degno di voi.

Sono a centinaia di migliaia i profughi che, curvi ancora sotto l'ala del dolore, lottano nel loro intimo, fra il desiderio di ritornare a piangere i loro cari nei paesi che li videro nascere, ed il timore di una nuova sciagura. Siate generosi del vostro consiglio; diminuite lo strazio della lontananza col dare la speranza del sicuro ritorno.

Chiunque porterà alla risoluzione del gran problema una sola idea utile, avrà bene meritato dell'Italia e dell'Umanità.

1° febbraio 1909.

ING. LUIGI NOVELLI.