

## DIVAGAZIONI SULLA STATICA DEL CAMPANILE PENDENTE (\*)

Letterio F. DONATO (\*\*)

*Sommario:* Richiamate brevemente le fasi di costruzione e le caratteristiche strutturali del celebre monumento, si esaminano gli elementi noti della legge di accrescimento della pendenza.

Considerati poi l'attuale assetto della Torre, il continuo progresso del dissesto e i risultati dei sondaggi del terreno espletati nel 1953, si mette in evidenza la necessità di non differibili interventi per moderare la pressione sotto la base e arrestare il moto di pendenza.

Si espongono infine i vari tipi di intervento proposti, illustrando in particolare un dispositivo provvisorio idoneo a porre il monumento in sicurezza mentre si attende allo studio dei provvedimenti definitivi e nel corso della loro attuazione.

Il tema della famosa Torre di Pisa, regolarmente citato come caratteristico esempio di cedimento viscoso del terreno, parrebbe particolarmente appropriato a un Convegno di Geotecnica. Senonché io non ho sostanziali novità da aggiungere a quanto è da tempo più o meno noto, né alle idee che in altre circostanze ho avuto modo di esporre in proposito.

Nondimeno, poiché l'argomento sembra accantonato da tempo, potrà forse riuscire interessante richiamarlo brevemente nei suoi aspetti essenziali: la cronistoria esecutiva dell'opera, il decorso del dissesto, la natura del terreno di posa, la situazione statica in atto, le modalità di restauro proposte.

\* \* \*

L'inizio dei lavori di costruzione della Torre si fa risalire all'agosto del 1173.

L'ipotesi, spesso affacciata, che la pendenza faccia parte della concezione originaria del Campanile è inammissibile; il fatto trova invece spiegazione nella disuniformità del cedimento della fondazione, come attesta, fra l'altro, l'inclinazione della base, in accordo con la pendenza.

Raggiunto in qualche anno il primo ripiano, il dissesto si sarebbe presentato già di vistose proporzioni e probabilmente con sensibile deviazione dalla verticale; non tale comunque da sconsigliare la prosecuzione dei lavori, i quali infatti continuarono, praticamente senza interruzione, con la costruzione del primo, secondo e parte del terzo ordine.

La lunga sosta, durata quasi un secolo a partire dal 1185 circa, fa ritenere che il cedimento si fosse nel frattempo talmente accentuato, da far dubitare

della possibilità di completare l'opera secondo i piani di BANANNO.

E' poco probabile che il dissesto sia cominciato con semplice affondamento e che soltanto in prosieguo di tempo disuniformità del terreno di posa — intrinseche o promosse dalle correnti freatiche — abbiano avviato il moto di pendenza. Scostamenti dalla verticale devono essersi palesati fin da principio. Tuttavia non è convincente la dimostrazione che il DE FLEURY tenta di darne attraverso correzioni che BANANNO avrebbe apportato all'asse della Torre già ai livelli delle prime due cornici. Recenti ed accurate osservazioni avrebbero rilevato a quei livelli scostamenti addirittura di senso opposto a quelli che dovrebbero corrispondere alle presunte correzioni.

La situazione dovette apparire stabilizzata nel 1275, quando Giovanni DI SIMONE riprese i lavori portando, in circa nove anni, l'opera alla settima cornice. Correzioni del tutto evidenti negli andamenti poligonali del profilo nel piano di massima pendenza, via via crescenti mentre andava accentuandosi lo strapiombo, furono indiscutibilmente volute, durante questa seconda fase dei lavori, per riportare l'asse sulla verticale, sperando ogni volta che il dissesto non dovesse più progredire.

Altra lunga sosta interviene fino al 1350 circa: Giovanni DI SIMONE era morto nel 1285, secondo il BIAGI combattendo alla Meloria. La preoccupazione circa l'evoluzione del moto doveva essere più che mai incombente; se nel 1292 Giovanni DI NICOLA e Guido, figlio di Giovanni DI SIMONE, venivano incaricati di procedere insieme a periodici controlli della pendenza.

Intorno al 1350 Tommaso PISANO completò l'opera con la costruzione della cella campanaria, alla cui base si rileva la correzione fra tutte più vistosa. Per eliminare l'inclinazione assunta dal settimo ripiano, dalla sua ultimazione, si richiesero infatti integrazioni di spessore fino ad un massimo di 45 cm.

(\*) Conferenza tenuta al VI Convegno di Geotecnica (Pisa, 9 aprile 1963).

(\*\*) Prof. Ing. Letterio F. DONATO, Ordinario di Scienza delle Costruzioni nell'Università di Pisa.

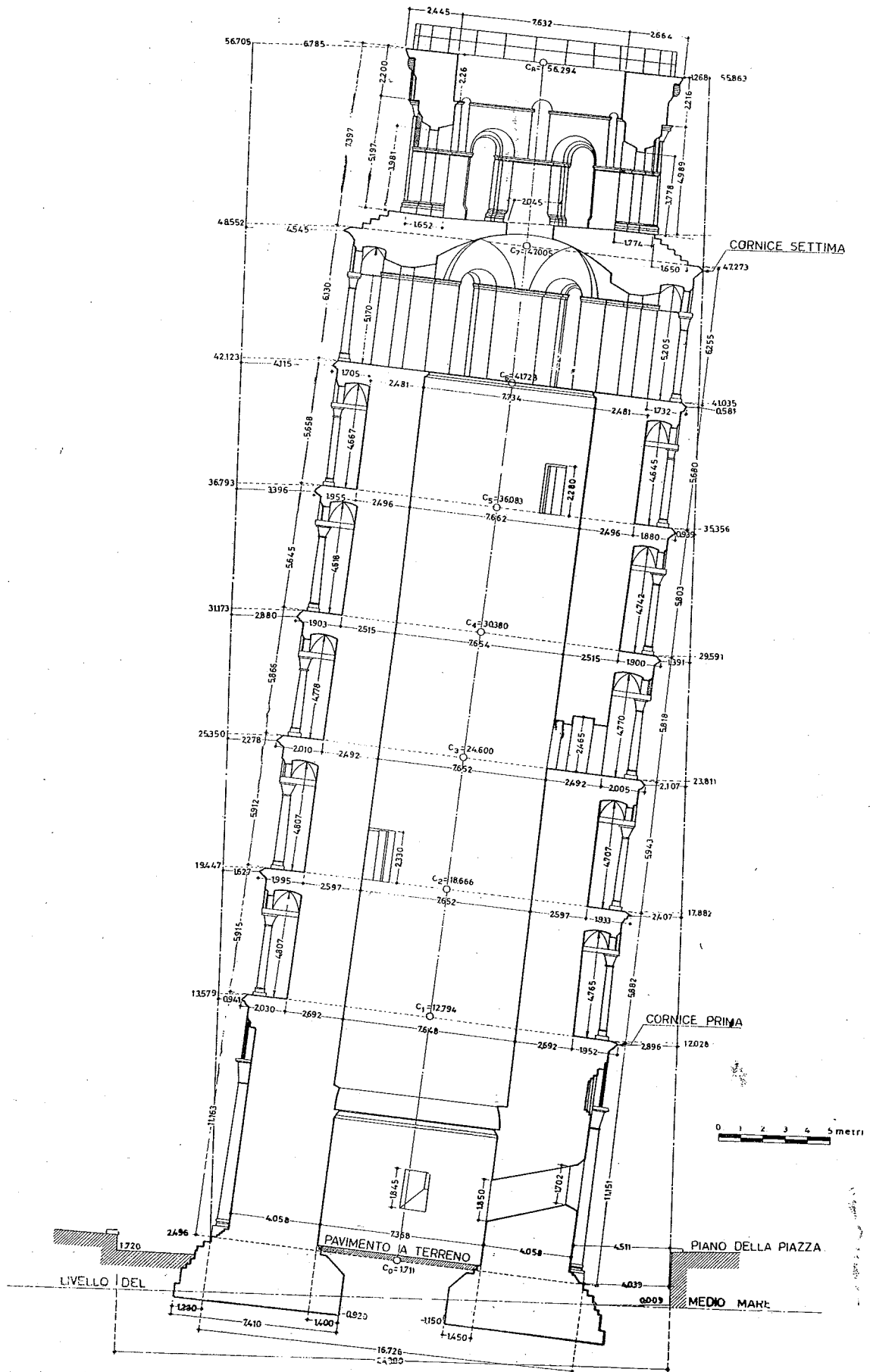


Fig. 1 - Sezione nel piano di massima pendenza.

\* \* \*

La struttura della Torre consta di un tamburo cilindrico affidato ad un basamento anulare e non a una platea circolare, come in passato si era creduto.

Il vano interno della base è cilindrico, con diametro 4,83 m; il paramento esterno di essa, dal diametro massimo di circa 19,60 m, rientra con varie riseghe, al crescere della quota, fino a ridursi ai 15,50 m circa del diametro esterno del tamburo (Fig. 1). La base è alta circa 3,50 m e poggia sopra un vespaio di circa 40 cm di spessore. Il piano di fondazione, originariamente orizzontale e a circa 2 m sotto quello di campagna, ha attualmente la pro-

nutici, molti sono inattendibili o di incerto riferimento.

Una diligente analisi ne ha fatto Piero SANPAOLESI nel 1956, allora Soprintendente ai Monumenti della zona e Membro della *Commissione Interministeriale di Vigilanza del Campanile* scaduta nel 1957. La pendenza, del 3,22% nel 1350, come desunta dalla rettifica di livello apportata da Tommaso PISANO al 7° ripiano, sarebbe passata al 7,57 nel 1550 (VASARI), all'8,56% nel 1817 (CRESY e TAYLOR), al 9,02% nel 1859 (DE FLEURY), per giungere ai valori di 10,12 e 10,19%, tuttora in costante accrescimento, che corrispondono alle più recenti e ovviamente più sicure osservazioni effettuate dal 1911 al 1954 (Fig. 3).

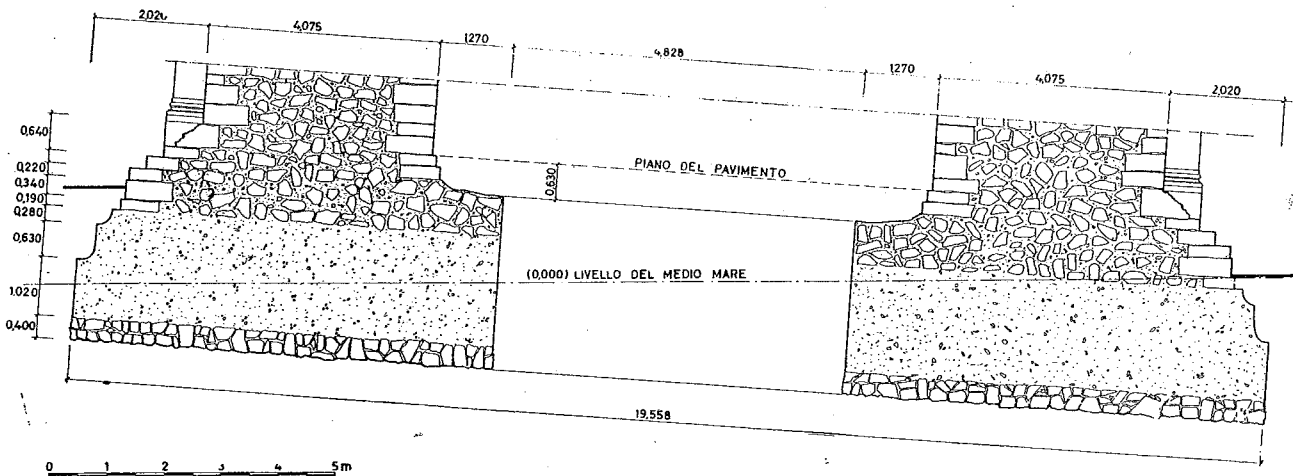


Fig. 2 - Sezione dell'anello di fondazione.

fondità di 3,50 m nel punto più alto e di 5,4 m nel punto più basso; presenta perciò una pendenza massima di circa 1/10 (Fig. 2).

Il tamburo s'innalza per oltre 54 m, fino al coronamento, con uno spessore della canna sui 4 m negli 11 m circa occupati dal primo ordine e di 2,50 m circa nella rimanente altezza; il diametro interno, da 7,40 m circa nei 6,00 m sottostanti all'imposta della volta poi sostituita da un solaio, passa superiormente a circa 7,65 m.

Il tamburo consta di due fodere murarie di conci di marmo di S. Giuliano, fra 40 e 60 cm di spessore, di fattura molto curata, a giudicare dalla sottigliezza dei giunti sui paramenti. Il riempimento tra le due fodere è di muratura di pietrame alla rinfusa, legata con malta di calce forte e ben consolidata, ma indebolita da larghi e frequenti vuoti, come si poté constatare in occasione della riparazione dei danni provocati da un colpo di artiglieria dell'ultima guerra. Non pare vi siano passanti in pietra squadrata a collegamento delle due fodere, tranne in corrispondenza delle aperture e dei ripiani.

\* \* \*

Sarebbe assai interessante conoscere la legge con cui la pendenza si è accresciuta nel tempo. Sfortunatamente, per quanto numerosi siano i dati perve-

Un aumento singolarmente rapido parrebbe rilevarsi nella seconda metà del secolo scorso, in relazione coi lavori di costruzione del catino eseguiti nel 1839-40 da Alessandro DELLA GHERARDESCA, per ri-

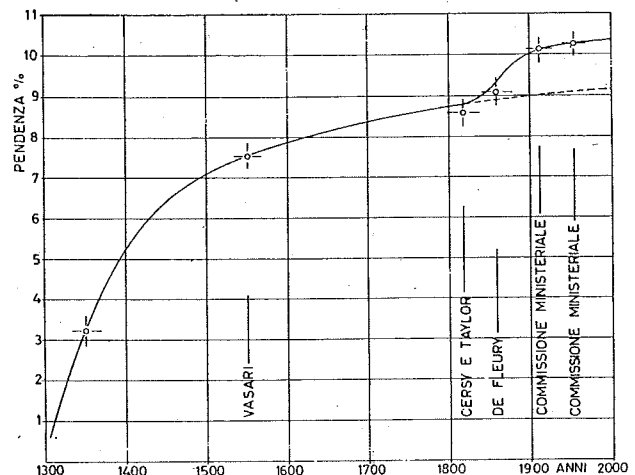


Fig. 3 - Presumibile andamento dell'accrescimento della pendenza.

mettere allo scoperto la parte basamentale ormai interritasi, e soprattutto in conseguenza degli aggotamenti praticati durante quei lavori e successivamente fino al 1930 circa, per liberare il catino dell'acqua che via via in esso si accumulava.

Per ovviare agli allagamenti e alle conseguenti pompature, nel 1932 si intervenne a rassodare l'anello di fondazione e a impermeabilizzare il catino con iniezioni cementizie. I lavori vennero eseguiti in breve tempo dalla *Soc. Ing. Giovanni RODIO*, sotto la direzione del *Genio Civile* di Pisa.

Non v'è dubbio che, cementando le fondamenta ed eliminando, con le pompature, la forte velocità della corrente creata artificialmente sotto la base di fondazione, si è posto riparo ad un grave inconveniente. Tuttavia quel provvedimento non può aver sostanzialmente modificato il decorso del fenomeno, qual'era anteriormente al 1938-39.

Per quanto importante, la vicenda avversa iniziata con la costruzione del catino, proseguita con le pompature e felicemente conclusasi circa venti anni or sono coi lavori della *RODIO*, è puramente episodica negli otto secoli di vita della Torre e lascia praticamente inalterate le linee essenziali del fenomeno sotto l'aspetto qualitativo, anche se per se stessa può ritenersi responsabile di un contributo di pendenza dell'1 ÷ 1,5%.

\* \* \*

Gli aspetti geologici sono già messi in rilievo in una relazione di Mario CANAVARI del 1913. Dati geotecnici approssimativi risultavano da sondaggi effettuati tra il 1907 e il 1910, con prelievo intermittente di campioni.

Un sondaggio spinto alla profondità di 50 m venne eseguito dalla *Soc. Ing. Giovanni RODIO* nel 1935, e complessivamente quindici ne furono eseguiti dalla stessa Ditta nel 1953: dieci all'incirca nel piano di massima pendenza — metà da ciascuna parte della Torre — e i rimanenti nell'area a levante: tre nella

perfezionato dall'*Istituto RODIO* per consentire il prelievo indisturbato anche in strati sabbiosi.

I dati tecnici estratti dalle prove dei campioni, sono riportati in un esteso rapporto della *Soc. Ing. RODIO*.

Nel diagramma triangolare desunto dalle analisi granulometriche risultano relativamente scarse le sabbie, i limi e le argille, frequenti le argille limose e i limi argillosi (Fig. 5); la maggior parte sono sabbie limose e limi argillosi. Più poveri di sabbia sono risultati i campioni provenienti dai sondaggi più prossimi al Campanile.

L'umidità naturale dei campioni è sensibilmente minore nei limi ed argille gialle o giallastre che non in quelli grigio-azzurri; raramente scende sotto il 20% e raggiunge spesso quote intorno al 60%. Questi valori eccezionalmente elevati sono da porre in relazione con l'età relativamente giovane dei depositi e con le esigue pressioni che sono state attive in essi.

Le caratteristiche di consistenza portano a qualificare i campioni limosi e argillosi di colore grigio-azzurro fra i materiali a media o alta plasticità.

A titolo puramente indicativo può mediamente ritenersi intorno al 27% il loro limite di plasticità, al 64% quello di fluidità, ai 0,5 kg/cm<sup>2</sup> la resistenza a rottura per espansione laterale libera. Sempre per un primo orientamento possono citarsi: gli indici di compressibilità e di impermeabilità alla pressione naturale rispettivamente di  $79 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/g e  $1,4 \times 10^{-7}$  cm/s; l'angolo d'attrito è sui 20°, la coesione sui 0,2 kg/cm<sup>2</sup>.

La campagna dei sondaggi ed il rapporto dello *Istituto RODIO* sono l'oggetto di un'acuta ed esauriente relazione di Livio TREVISAN, direttore dell'*Istituto di Geologia* dell'Università di Pisa e Membro della *Commissione Ministeriale* che dispose le ricerche. Le conclusioni che se ne traggono chiariscono le incertezze lasciate dai precedenti sondaggi sulle caratteristiche del terreno d'impianto della Torre, e pongono in forma definitiva tutti gli elementi che in ordine al problema poteva sperarsi di trarre da una indagine geotecnica. Si è anzi rinunciato ad estendere l'esame alla zona ad Ovest del Campanile, perché ulteriori dati non avrebbero modificato sensibilmente il quadro generale delle conclusioni.

E' noto che, fino a 220 m di profondità, non esistono nel sottosuolo della piana di Pisa sedimenti coerenti, ma soltanto depositi limosi e argillosi con intercalazioni di sabbia. Nella Piazza dei Miracoli i due sondaggi profondi hanno rinvenuto, all'incirca fra i 10 e i 23 m, il cosiddetto « pancone argilloso », in genere grigio-turchino, giallastro negli ultimi 1 ÷ 2 m. Seguono alternanze di limo, argilla e sabbia fino a 30 m circa, indi nuovamente argilla plastica grigia fino a 43 m, e infine sabbia giallastra.

I sondaggi meno profondi miravano a mettere in evidenza i particolari stratigrafici della coltre di copertura del « pancone », in passato definita « argilla con lenti sabbiose », in vista di possibili trattamenti idonei a migliorarne le caratteristiche portanti.

I primi 3 ÷ 4 m di perforazione accusarono regolarmente un riporto di natura mista terrosa-sabbiosa-

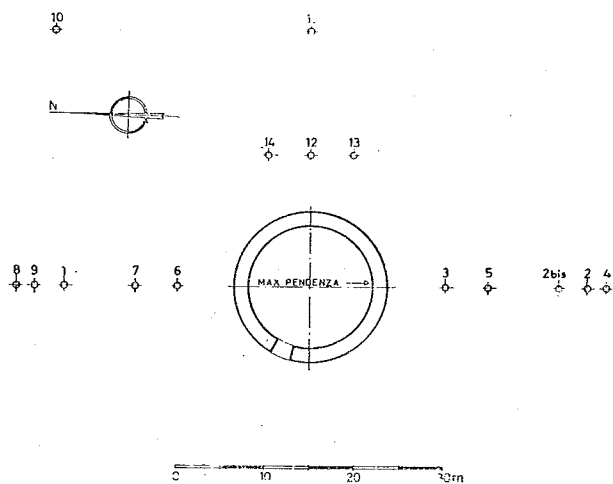


Fig. 4 - Tracce dei sondaggi effettuati nel 1953.

immediata prossimità del Monumento e due a maggiore distanza (Fig. 4).

Uno dei sondaggi di questa serie più recente venne spinto fino a 32,20 m, gli altri quattordici furono limitati alla profondità di 10 ÷ 11 m; tutti vennero eseguiti con campionatore continuo KJELLMANN,

argillosa, con frammenti di cocci di varie età e ossa di animali. I sedimenti sottostanti risultarono di ambiente lagunare, testimoniato anche dalla presenza dei fossili caratteristici e da resti di conchiglie.

acque riducenti; mentre derivano dai depositi intermittenti nelle velme e nelle barene quelli di colore giallo o giallastro, che restavano esposti periodicamente all'azione ossidante dell'aria.

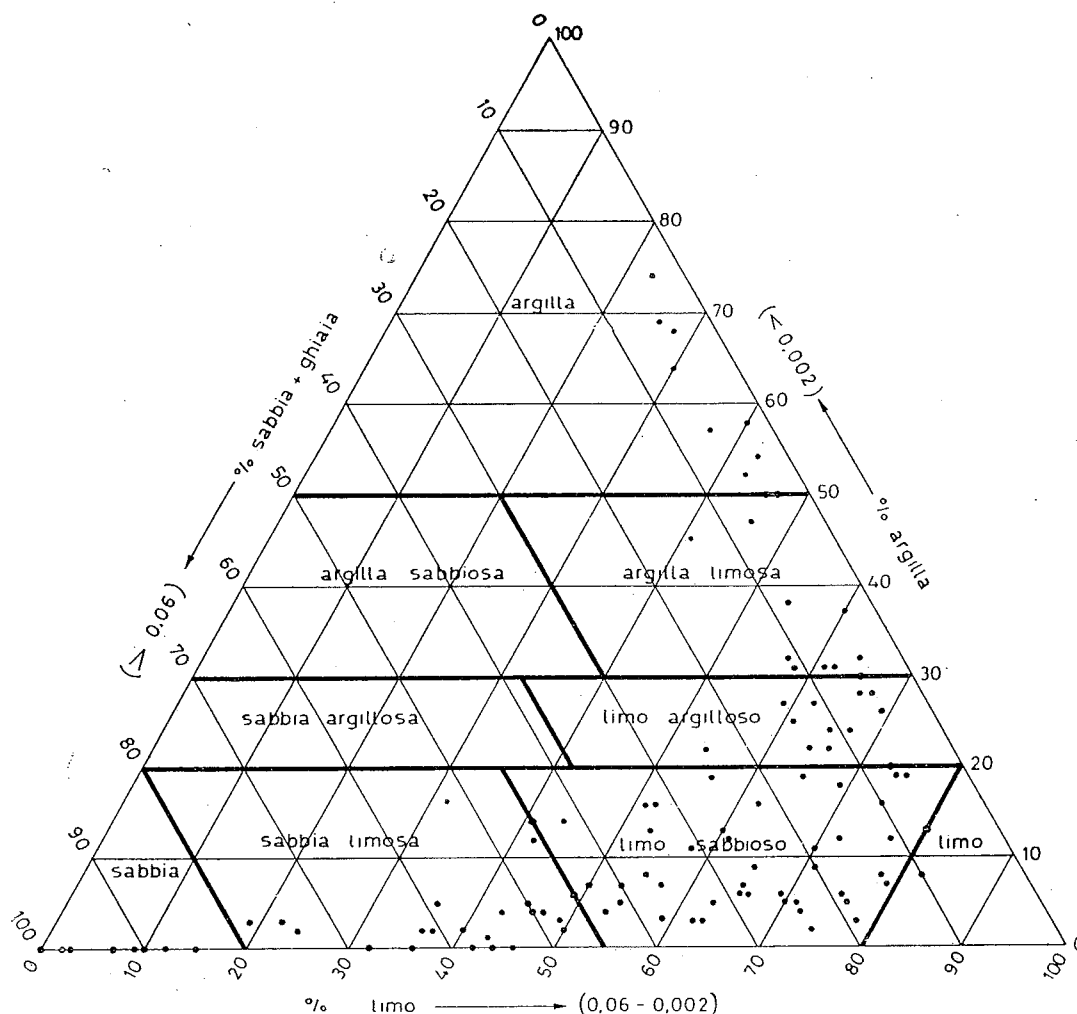


Fig. 5 - Diagramma triangolare desunto dalle analisi granulometriche dei campioni del terreno.

Il « pancone » di argilla grigio-azzurra esprime la sedimentazione avvenuta in un ambiente uniforme, a notevole distanza dal corso principale dell'Arno, un tempo vagante in zone a sud di Pisa. Gli strati soprastanti, fino al terreno di riporto, denunciano invece un periodo particolare dell'evoluzione della laguna originaria.

Il TREVISAN trova nella laguna di Càorle un felice esempio dell'ambiente caratteristico nel quale si crearono le formazioni che interessano (Fig. 6).

Le correnti di marea — egli spiega — fluiscono in una fitta rete di canali più o meno importanti sul fondo della laguna. Le aree più profonde non solcate da canali (*lame*) sono sempre immerse, quelle più alte sono soggette a temporanee emersioni: alcune (*velme*) si scoprono soltanto durante le basse maree, altre (*barene*) sono sommerse soltanto dalle alte.

Nel sottosuolo del Campanile provengono dalla sedimentazione dei canali e delle lame i materiali di colore grigio-azzurro del « pancone », depositati in

Restano con ciò pienamente spiegati sia la impossibilità risultata di stabilire una correlazione stratigrafica, anche fra sondaggi molto ravvicinati, sia la

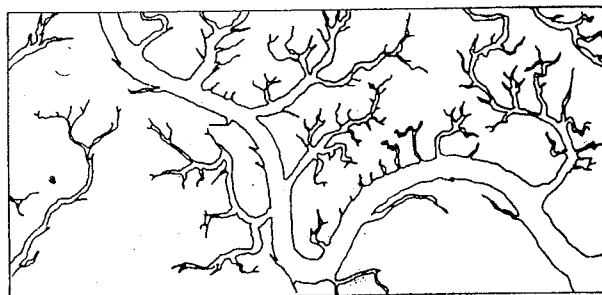


Fig. 6 - Schizzo planimetrico della laguna di Càorle tratto da una aerofotografia.

frequente ricorrenza di strati disordinatamente inclinati, talora nettamente troncati da strati orizzontali. La stratigrafia, infatti, riproduce le caratteristiche

della sedimentazione, quanto mai mutevoli a seconda delle varie zone dell'ambiente lagunare — diverse al variare dei fori e della quota — attraversate dalla perforazione, con mutamenti di colore e di composizione del tutto plausibili anche su estensioni molto ridotte. Discontinuità originate dalle erosioni determinate dal gioco alterno delle maree possono ritrovarsi pure nel fondo dei canali.

Gli strati inclinati corrispondono a depositi sulle sponde dei canali, le troncature orizzontali a sedimentazioni seguite a fasi di erosione. I pieghi di sottili strati argillosi rinvenuti in alcune carote presentano i caratteri tipici di scivolamento sopra un pendio.

Inclinazioni e pieghi degli strati, che nella interpretazione dei sondaggi più remoti si era tentato di spiegare come dislocazioni del terreno gravato dal peso del Campanile, non hanno dunque alcun rapporto con esso; tanto è vero che si riscontrano anche a notevole distanza dal Monumento e a poca profondità.

Il dissesto della Torre non deriva perciò da rotture o dislocazioni degli strati, com'era stato ventilato, bensì dalla natura essenzialmente limo argillosa del terreno di sedime, il quale, perdendo acqua, lentissimamente va consolidandosi. Il processo è estremamente lento, a motivo della scarsa permeabilità e dell'elevatissimo tenore di umidità naturale del mezzo.

\* \* \*

L'assetto del campanile è definito dallo strapiombo nel piano di massima pendenza, che oggi viene misurato fra la prima e la settima cornice. Siccome quest'ultima è alta circa 50 m sulla base di fondazione, e lo strapiombo riferito a tale altezza è prossimo ai 5 m, l'attuale pendenza è grosso modo di 1/10. In queste condizioni, essendo sui 25 m la quota del baricentro del sistema e potendosi, per quanto ora interessa, considerare rettilineo l'asse della Torre, le 14.000 t caricano la base con una eccentricità di circa 2,50 m.

Data la natura del terreno, sarebbe già intollerabile la pressione di circa 5 kg/cm<sup>2</sup> corrispondente, nell'ipotesi di ripartizione uniforme, al carico centrato, cioè all'assetto verticale. E' noto infatti che nella piana di Pisa raramente si sorpassa 1 kg/cm<sup>2</sup> per fondazioni continue e si sta alquanto al disotto per fondazioni isolate.

A motivo della pendenza, quei 5 kg/cm<sup>2</sup> non esprimono che il valore medio. Ammessa, per quanto qui può interessare, una distribuzione lineare, la pressione, ormai praticamente nulla nel punto più elevato della base, cresce nel senso della pendenza fino a raggiungere circa 10 kg/cm<sup>2</sup> nel punto più basso. E la pendenza progredisce costantemente, con legge pressoché uniforme: dal 1918 al 1962 è stato riscontrato un incremento di 38 mm, cui corrisponde un progresso di circa 30 mm dell'eccentricità del carico.

V'è chi ritiene che ulteriori aumenti dello strapiombo non debbano preoccupare. Infatti il Campanile si muove così lentamente sul suo piano di posa che non secoli, ma millenni, dovrebbero passare per

giungere alla situazione limite del suo equilibrio rigido. Perché allora allarmarsene? Il moto potrebbe rallentare o anche esaurirsi, nel qual caso il problema si risolverebbe da sé nel più elegante e naturale dei modi.

Purtroppo né il Campanile né il terreno che lo sorreggono sono sistemi rigidi, ed è assai mal fondata l'opinione che debbano restare innocui ulteriori cedimenti. Quale che sia la legge con cui il dissesto è maturato finora, quella che seguirà in futuro è sicuramente assai più rischiosa. Accrescendosi lo strapiombo, e quindi l'eccentricità, la base d'ora in avanti non comprimerà più il terreno con l'intera sua superficie, ma con porzioni via via sempre più ridotte; e ne risulteranno incrementi di sforzo e di pendenza assai più rapidi.

D'altra parte i 10 kg/cm<sup>2</sup> ormai raggiunti sotto la base esprimono già una esasperazione tensionale incredibilmente oltre il limite di prestazione che ragionevolmente può chiedersi ad un terreno limo-argilloso con tenori di umidità che raggiungono il 60%.

Non v'è dubbio dunque che, se la Torre vuol essere conservata, non differibili provvedimenti si impongono per arrestarne il moto di pendenza e per moderare la pressione sotto la base quanto è necessario per evitare un collasso del terreno.

Non regge alla critica più elementare attendere ulteriori preavvisi, e tanto meno confidare che il problema si risolva spontaneamente, mentre si assiste al singolare spettacolo di un equilibrio che va sempre più compromettendosi.

\* \* \*

La casistica degli interventi da ogni parte e in ogni tempo proposti è vastissima e non manca di spunti umoristici.

Per tacere dei suggerimenti privi di basi tecniche, viziati da banali errori o che prescindono da dati di fatto essenziali, vi sono intanto i fautori dello smontaggio e successiva ricostruzione su fondamenta adeguate alla pendenza e alla natura del terreno.

La proposta trova fermi sostenitori, specialmente negli ambienti meno informati dei mezzi di cui oggi dispone la tecnica del restauro statico; fortunatamente è inattuabile, perché la fragilità acquisita nei secoli dai marmi di S. Giuliano che vestono il Campanile porterebbe praticamente a costruire un nuovo Campanile, non a conservare quello esistente. E sussistono ovvie ragioni storiche ed artistiche a sconsigliare così mortificante soluzione.

Ripetutamente sono state proposte iniezioni cementizie, previo trattamento con silicato sodico e solfato d'alluminio o analoghi preparati, intese ad assodare il terreno quanto necessario per metterlo in grado di sopportare, senza ulteriori cedimenti, le pressioni della Torre. Ma i risultati dei sondaggi portano ad escludere la possibilità di penetrare il terreno con iniezioni, almeno nella zona che occorrerebbe trattare, mentre in alcune zone più lontane dal Campanile qualche risultato sarebbe sperabile dalla cemen-

tazione degli strati sabbiosi quivi intercalati alle argille.

Altri mirano ad irrigidire la massa interessata dal carico inserendo in essa un reticolo di pali cementizi di piccolo diametro, trivellati a rotazione e iniettati. Il tipo costruttivo ha dato infatti eccellenti risultati in molti interventi di restauro, ma non ne appare del tutto appropriata l'applicazione al caso della Torre, anche a prescindere dalle difficoltà tecnologiche che occorrerebbe superare, considerato il grande numero e la notevole lunghezza degli elementi che si richiederebbero per costituire un reticolo efficiente.

Non sembra, allo stato attuale delle conoscenze, che interventi diretti a modificare la resistenza del terreno possano condurre a risultati considerevoli. In ogni caso resterebbe immutato il quadro delle pressioni in fondazione, espresso da quei certi 10 kg/cm<sup>2</sup> pur sempre temibilissimi. Anche ad essere ottimisti, non si può davvero sperare di conferire ai materiali limo argillosi del sottosuolo resistenza paragonabile a quella di una buona roccia, come sarebbe necessario per potervi affidare definitivamente la Torre con la sua attuale pendenza.

Altri ancora propongono di creare dei vuoti nel terreno perforandolo orizzontalmente sotto la parte più alta della base, ortogonalmente al piano di massima pendenza, così da produrre cedimenti che moderino lo strapiombo e quindi gli squilibri di pressione in fondazione: preordinando convenientemente l'ubicazione, il diametro e il numero dei fori dovrebbe potersi operare in guisa da moderare la disuniformità di carico sul terreno. Se la proposta non manca di suggestivi presupposti teorici, la sua attuazione non pare esente da gravissimi rischi. Infatti la grande varietà riscontrata, anche in zone molto ridotte, nelle caratteristiche del terreno, non permette di escludere che i vuoti, anziché i voluti cedimenti dal lato nord, inducano rifluimenti di materia dalla zona maggiormente premuta a quella meno premuta e quindi accrescano pericolosamente i cedimenti della parte opposta.

Altre proposte infine mirano a sostituire o integrare l'attuale base di fondazione mediante palificate o diaframmi che trasferiscano il carico agli strati profondi, oppure con ampliamenti della base tali da contenere entro limiti sicuramente sopportabili dal terreno le pressioni sotto di essa.

Sono indubbiamente questi ultimi i provvedimenti più idonei a risolvere completamente il problema. Si tratta di approfondirne lo studio, al lume dei notevolissimi progressi compiuti in questi ultimi anni dalla tecnica delle fondazioni, onde determinare sia le tecnologie operative più appropriate al caso, sia le concrete modalità con le quali il carico del Campanile potrà essere trasferito sul nuovo sistema portante, tenuto presente che tale operazione, come qualunque altra che interessi il sottosuolo della zona, dovrà effettuarsi in presenza d'acqua.

\* \* \*

L'ultima *Commissione* del Campanile, portata a termine, con la conclusione dei sondaggi, la fase

diagnostica, volle estrarre dai risultati un programma di restauro da sottoporre al *Ministero dei Lavori Pubblici*.

Al compianto Prof. ALBENGA e a me, entrambi membri della *Commissione*, venne demandato il compito di tracciarlo. Insieme lo concertammo nelle linee generali, da solo dovetti poi concretarlo dopo la prematura scomparsa dell'insigne Maestro. Esso prevede appunto un ampliamento della base di fondazione, tale da eliminare le disuniformità di pressione nel terreno e da ridurre la pressione stessa al limite di circa 1 Kg/cm<sup>2</sup>, tenuto anche conto del peso della nuova struttura entro terra. Come si avvertiva nella presentazione, si tratta di una enunciazione di larga massima, non meno di ogni altra bisognosa di meditazione e di studio per essere tradotta in un vero e proprio progetto.

Sono noti gli aspetti essenziali di quel programma e non è il caso di illustrarli in questa sede. Un brevissimo cenno potrà tuttavia interessare sulle importanti opere provvisorie in esso previste.

Sulla necessità inderogabile di subordinare qualunque intervento sulle fondamenta al preventivo apprestamento di presidi, credo tutti si possa esser d'accordo; si deve poter operare in condizioni di sicurezza, senza rischio di provocare una crisi dello equilibrio incerto e precario in cui il Monumento attualmente si trova.

La fase preliminare del programma ricordato, intesa appunto alla posa in opera del dispositivo di sicurezza, comporta l'ancoraggio del tamburo mediante stralli di acciaio applicati a livello delle cornici, previa cinturazione e fissaggio all'interno dei colonnati degli ordini. I due rami di ogni strallo, tra loro indipendenti ed in simmetria rispetto al piano di massima pendenza, hanno la divergenza massima compatibile con le esigenze statiche e l'area disponibile della piazza, e fanno capo a due alti castelli, dove sono rinvii a contrappesi regolabili (Fig. 7).

Grazie al sistema di trazioni orizzontali che ne risulta, si riesce a moderare gli squilibri di pressione in fondazione, oltre agli sforzi flessionali e tangenziali nel tamburo (Fig. 8). Convenientemente regolato in intensità e durata, a prescindere da ogni intervento diretto sulle fondamenta, il dispositivo porterebbe, per se stesso, ad un'attenuazione della pendenza e ad una distribuzione di carico in fondazione meno insidiosa di quella in atto.

Un diaframma cilindrico di recinzione, sui 20 m di profondità e 38 m di diametro, è inoltre previsto per sottrarre la massa di terreno interessata dal carico ad ogni influenza delle successive fasi operative che incidono sulle masse esterne al diaframma.

\* \* \*

L'ultima *Commissione* ufficiale decadde nel 1957 con la consegna al *Ministero dei Lavori Pubblici* della relazione sul proprio operato e di varie proposte di restauro, tra cui quella dianzi ricordata, elaborata per sua iniziativa.

Su queste proposte o sulla necessità di ulteriori studi avrebbe dovuto esprimersi il *Consiglio Superiore*

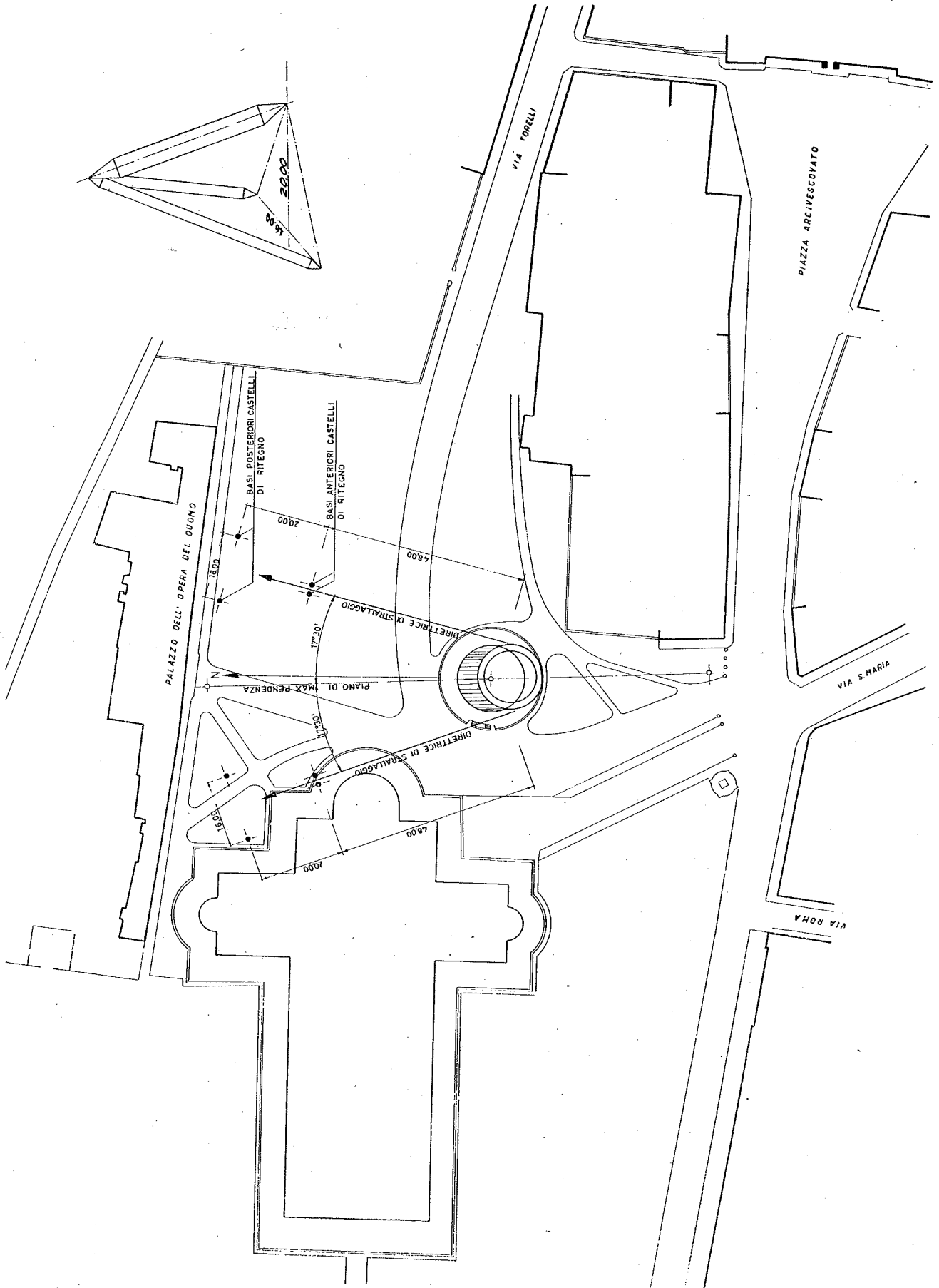


Fig. 7 - Schema planimetrico del dispositivo provvisorio di sicurezza.



riore dei Lavori Pubblici, ma non risulta finora intervenuta una decisione.

Poiché molto tempo è trascorso, è sperabile che il parere non tardi.

Il problema merita la massima attenzione e la ri-

La Torre interessa e preoccupa vivamente gli stranieri, come attestano le richieste di informazioni che da tutto il mondo continuamente pervengono alla *Opera della Primaziale*, all' *Università*, al *Genio Civile*, al *Ministero dei Lavori Pubblici*; non lascerà

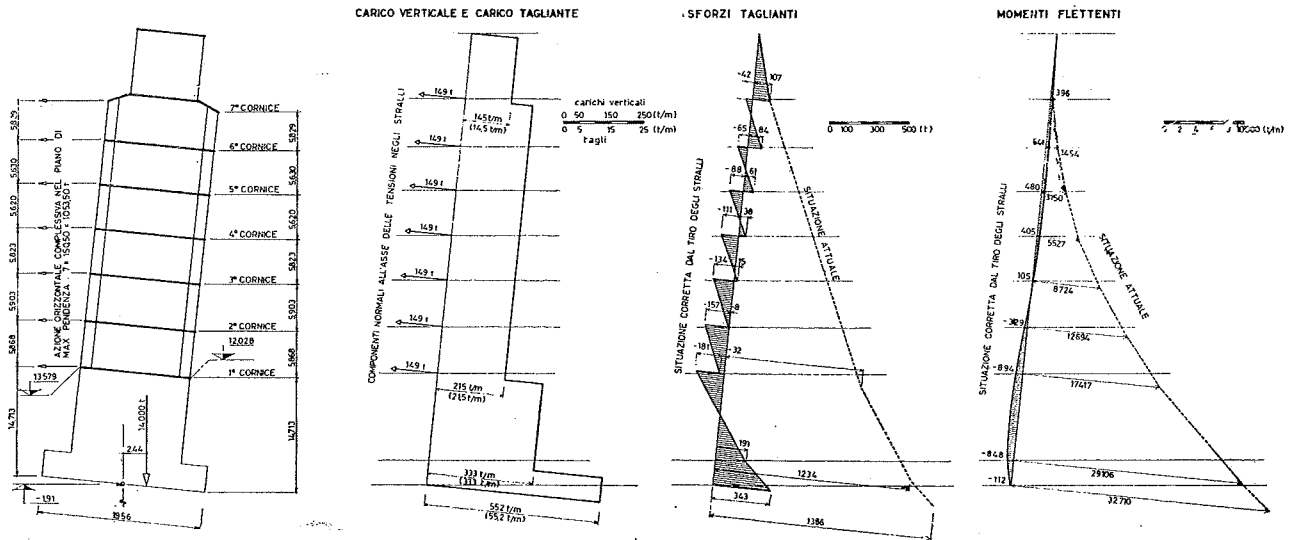


Fig. 8 - Taglio e momento flettente nel tamburo.

soluzione non può esserne rimandata a tempo indeterminato. Se gli studi sono manchevoli, si completino; se le proposte sono inadeguate o imprudenti si correggano o si abbandonino e se ne preparino al più presto di più convincenti.

indifferenti proprio gli eredi dei geniali Artefici che meravigliosamente la innalzarono.

Non soltanto lo speriamo, ma ne siamo certi, perché i costruttori italiani di oggi sono ben degni degli Artefici di ieri.

DIVAGATIONS SUR LA STABILITÉ STATIQUE DE LA TOUR PENCHÉE

*Sommaire:* Après avoir brièvement rappelé les différentes phases de la construction et les caractéristiques de la structure du célèbre monument, on examine les éléments connus de la loi d'augmentation de l'inclinaison.

Puis, après avoir considéré la situation actuelle de la tour, la progression continue du déséquilibre et les résultats des sondages du terrain pratiqués en 1953, on met en évidence la nécessité d'intervenir sans différer afin de modérer la pression qui s'exerce sous la base et d'arrêter le mouvement d'inclinaison.

On expose enfin les différents types d'intervention proposés, illustrant en particulier un dispositif provisionnel permettant de garantir la stabilité du monument durant l'étude et l'élaboration des mesures à prendre et au cours de leur application.

ROAMING ABOUT THE STATICS OF THE LEANING TOWER

*Summary:* After having briefly recalled the successive steps in the construction and the structural characteristics of the famous monument, the known elements determining the increment of the slope are examined.

The actual situation of the tower, the continuous progress of the disarrangement, and the results of the ground sampling performed in 1953 are considered. On this basis it is pointed out the need of an immediate intervention directed to reduce the pressure load on the ground and to stop the slope increment.

The various kinds of intervention proposed are illustrated, with special reference to a temporary device directed to grant the safety of the structure while the ultimate solution is studied and during its realization.