

MOVIMENTI DEL SUOLO NEL CENTRO DI MILANO DURANTE GLI ULTIMI VENTenni ANNI

Elena Baj Agnoletto *

COMUNICAZIONE PRESENTATA AL XV CONVEGNO NAZIONALE SIFET
PALERMO, 25-30 SETT. 1970

Premesse

L'indagine sui movimenti del suolo nel centro di Milano, oggetto della presente relazione, deriva da un incarico che la Veneranda Fabbrica del Duomo affidò, all'inizio del corrente anno, all'Istituto di Topografia del Politecnico di Milano allo scopo di individuare una eventuale correlazione tra l'abbassamento della falda freatica ed i cedimenti del suolo cittadino, con specifico riguardo alla zona centrale. E ciò al fine di meglio inquadrare il problema dei movimenti delle strutture del Duomo, rilevati con le periodiche livellazioni eseguite dallo stesso Istituto di Topografia.

L'Istituto di Topografia ritenne che tale incarico potesse essere assolto in quanto esisteva una fitta rete di livellazione del centro urbano di Milano, eseguita a cura del Catasto nel 1950, e d'altra parte era noto che l'andamento della falda freatica era sotto costante controllo da parte degli organi Tecnici del Comune. Il periodo 1950-1970 risultava particolarmente significativo per la caratteristica situazione della falda freatica interessante il territorio della città di Milano, dato che proprio intorno al 1950 è iniziata una notevolissima accentuazione dell'abbassamento medio annuo della falda stessa, come risulta dalla figura 1.

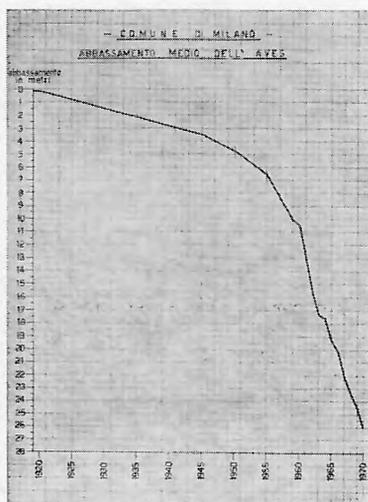


Fig. 1

Il poligono principale della rete catastrale 1950 collegava i caposaldi I.G.M. già esistenti a Palazzo Brera, Porta Ticinese e Porta Venezia: tra Palazzo Brera

* Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria « G. Cassinis » del Politecnico di Milano.

e Porta Ticinese venivano apposti n. 6 caposaldi, tra Porta Ticinese e Porta Venezia ne venivano apposti 6 e tra Porta Venezia e Brera 2, in modo che la distanza tra due caposaldi successivi non superasse il chilometro. I caposaldi sono del tipo sia orizzontale che verticale e sono stati realizzati in alluminio e murati in edifici. Venivano poi istituite altre linee di livellazione principali, con apposizione di caposaldi, che si dipartivano in direzione radiale dai tre caposaldi fondamentali I.G.M. per raggiungerne altri situati in zona periferica e linee trasversali (semiprincipali) che collegavano i caposaldi delle linee principali.

La tolleranza adottata dal Catasto era $t = 3 \sqrt{L_{km}}$ mm dove L è espresso in km e sempre gli errori di chiusura sono risultati inferiori alla tolleranza.

Da ultimo venivano effettuate delle linee secondarie colleganti caposaldi catastali di linee principali e semiprincipali. Per tali livellazioni la tolleranza adottata era $t = 6 \sqrt{L_{km}}$ mm. Lo schema della rete catastale 1950 è visibile in figura 2.

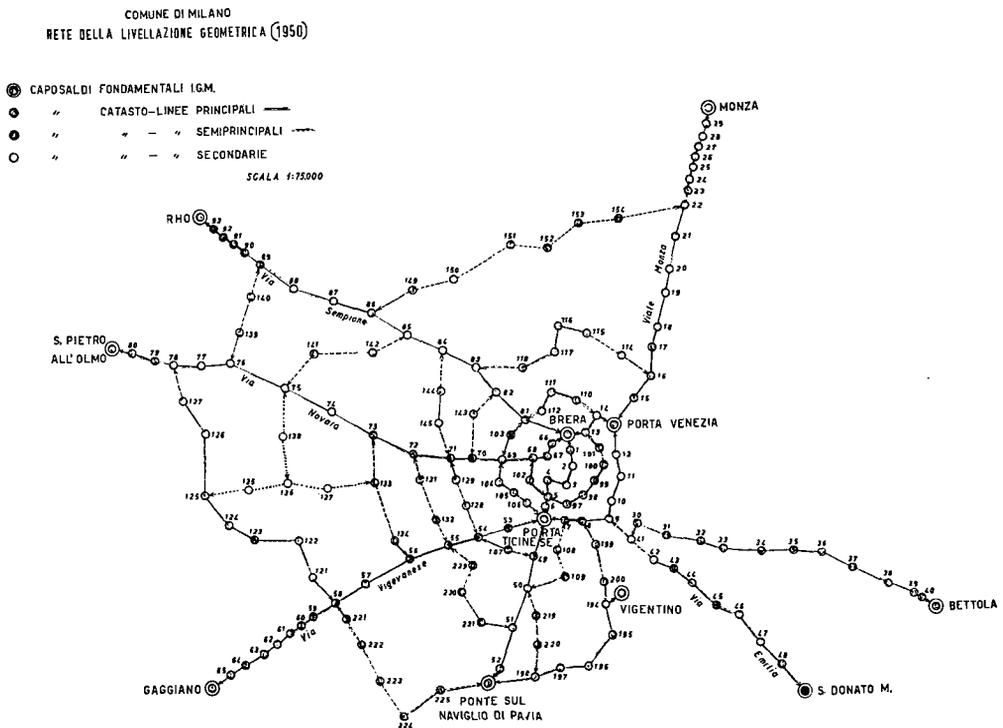


Fig. 2

Sviluppo del lavoro

Nel mese di febbraio fu ripetuta la livellazione dei caposaldi catastali, per ottenere, dal confronto tra i dislivelli rilevati nel 1950 e nel 1970, le deformazioni del suolo.

La Veneranda Fabbrica del Duomo era interessata soprattutto alla zona centrale della città, e per questo la nuova livellazione, di alta precisione, fu limitata

ai 32 caposaldi della rete catastale 1950 tuttora esistenti entro le mura spagnole; infatti alcuni caposaldi erano andati dispersi. Lo schema della nuova livellazione è una rete comprendente 8 maglie.

Le misure sono state eseguite con un livello Wild Ni3 di alta precisione munito di lastra piano parallela e con lettura diretta, su una scala, del decimo di mm: si sono impiegate due stadi Wild con graduazione in centimetri su banda di invar.

Le battute non hanno mai superato i $70 \div 80$ m e sono state ripetute due volte in maniera totalmente indipendente. Per la singola maglia si è ammessa una tolleranza $t = 3 \sqrt{L_{km}}$ mm, uguale a quella adottata dal Catasto nel 1950. I dislivelli misurati furono 39 contro i 31 strettamente necessari.

Nella figura 3 sono riportati i caposaldi interessati dalla livellazione 1970, lo schema della rete di livellazione ed il numero che contraddistingue le maglie. Gli errori di chiusura di ogni maglia sono sempre largamente compresi entro la tolleranza: essi sono per le maglie 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 rispettivamente di +2,31; +3,42; +0,98; +2,34; -1,48; -0,06; -0,61; -2,77.

Si è prescelto per la compensazione il metodo delle osservazioni indirette e si dirà poi la ragione di tale preferenza.

Ad ogni dislivello misurato corrisponde una equazione generata e quindi le equazioni generate sono 39.

Al fine di rendere più spedito il calcolo della compensazione venne assegnato ad uno dei caposaldi, considerato come origine delle operazioni di misura, una quota arbitraria di comodo Q_0 e relativamente a questa, seguendo un percorso aperto, sono state determinate le quote approssimate di comodo di tutti i restanti 31 caposaldi, quote che vengono indicate con Q' .

Le equazioni generate sono del tipo

$$Q'_{i+1} - Q'_i + X_{i+1} - X_i - \Delta'_{i/i+1} = V_{i/i+1}$$

dove le x_i rappresentano le correzioni da apportare alle quote approssimate, i Δ_i rappresentano i dislivelli misurati e i v_i gli scarti. Evidentemente nessuna correzione va apportata alla quota Q_0 del caposaldo di origine, sicché la prima equazione è del tipo:

$$Q'_1 - Q_0 + X_1 - \Delta'_{1/0} = V_{1/0}$$

I tratti livellati non hanno uguale lunghezza d : se quindi si ammette che l'errore di ogni dislivello sia proporzionale alla radice quadrata di detta lunghezza, ogni equazione va moltiplicata per il valore $\frac{1}{d}$ che gli compete, per ridurle tutte allo stesso peso: d è stato espresso in km.

Il sistema normale, che si ottiene dalle equazioni generale, consta di 31 equazioni in 31 incognite, cioè di tante incognite quante sono le correzioni da apportare alle quote approssimate dei caposaldi. La formazione del sistema normale e la soluzione dello stesso si è ottenuta con l'elaboratore elettronico mediante apposito programma già più volte collaudato dall'Istituto di Topografia del Politecnico di Milano. Ottenute le incognite x si sono calcolate le quote compensate di comodo, che indicheremo con Q'' .

Introducendo poi nelle equazioni generate ridotte allo stesso peso i valori ot-

tenuti x_i si sono ottenuti gli scarti v_i e si è calcolato l'e.q.m. dell'unità di peso mediante la formula:

$$\mu^2 = \frac{\sum_{i=1}^{39} v_i^2}{n-m}$$

dove n è il numero dei dislivelli misurati, ed m è il numero dei caposaldi meno uno (cioè il numero delle misure strettamente necessarie).

La quantità μ^2 rappresenta una valutazione dell'e.q.m. di un tratto generico della rete di lunghezza di 1 km; μ^2 ammonta a mm 1,06 e quindi μ circa a mm. 1; detto valore ci assicura che le operazioni sono state condotte con sufficiente precisione.

Sempre con l'elaboratore elettronico e apposito programma si è ottenuta la matrice inversa della matrice formata dai coefficienti del sistema normale. Interessa avere i termini della diagonale di tale matrice inversa, perché essi ci permettono il calcolo degli errori medi relativi alle varie incognite. Infatti, indicati con α_i i termini della matrice inversa, la radice quadrata dell'e.q.m. relativo alla generica incognita x_i è data da

$$\delta_{x_i} = \sqrt{\alpha_{ii} \mu^2}$$

Gli errori medi sono tutti inferiori a 1 mm, e ciò concorda con il valore dell'unità di peso in quanto che la lunghezza dei tratti è in genere inferiore al chilometro.

Proprio per la possibilità di ottenere gli errori relativi alle varie incognite è stato preferito il metodo delle indirette a quello delle condizionate, nonostante che quest'ultimo metodo avrebbe comportato la soluzione di un sistema di sole 8 equazioni in 8 incognite, tante quante sono le misure esuberanti.

Risultati

Calcolate le quote Q'_i si sono confrontati i valori dei dislivelli tra i caposaldi nel 1970 e nel 1950 e si è constatato che avevano subito delle variazioni, anche di parecchi cm.

Non avendo elementi per ritenere alcun caposaldo interessato dalla livellazione di quota costante in tale lasso di tempo, era impossibile calcolare le quote assolute 1970 dei caposaldi e quindi gli abbassamenti rispetto al 1950. D'altra parte, per rendere confrontabili i risultati, era necessario quotare i caposaldi 1970; si è allora ammesso che la quota media del complesso dei caposaldi interessati alle due successive livellazioni fosse rimasta costante nel ventennio 1950-1970.

Ciò è evidentemente fittizio e del tutto improbabile, considerata anche la natura del suolo milanese interessato all'abbassamento dell'aves.

In base all'ipotesi di lavoro, calcolati i dislivelli Δ_{i-1970} tra ogni caposaldo e la quota media dei caposaldi nel 1970, e calcolata la quota media dei caposaldi nel 1950, « Qm-1950 », si è ottenuta la quota di ogni caposaldo nel 1970 sommando al Δ_{i-1970} la quota media dei caposaldi nel 1950; si ha

$$Q_{csi-1970} = \Delta_{i+1} + Q_{m-1950}$$

Si sono quindi calcolate per ogni caposaldo le variazioni di quota tra il 1970 ed il 1950. Data la ipotesi di lavoro ammessa si sono riscontrati abbassamenti in

alcune zone e sollevamenti in altre; si rileva un abbassamento relativo massimo di 116 mm in corrispondenza del caposaldo 67, che si trova in Largo Cairoli, ed un innalzamento relativo massimo di 37 mm in corrispondenza del caposaldo 5, che si trova alle colonne di S. Lorenzo.

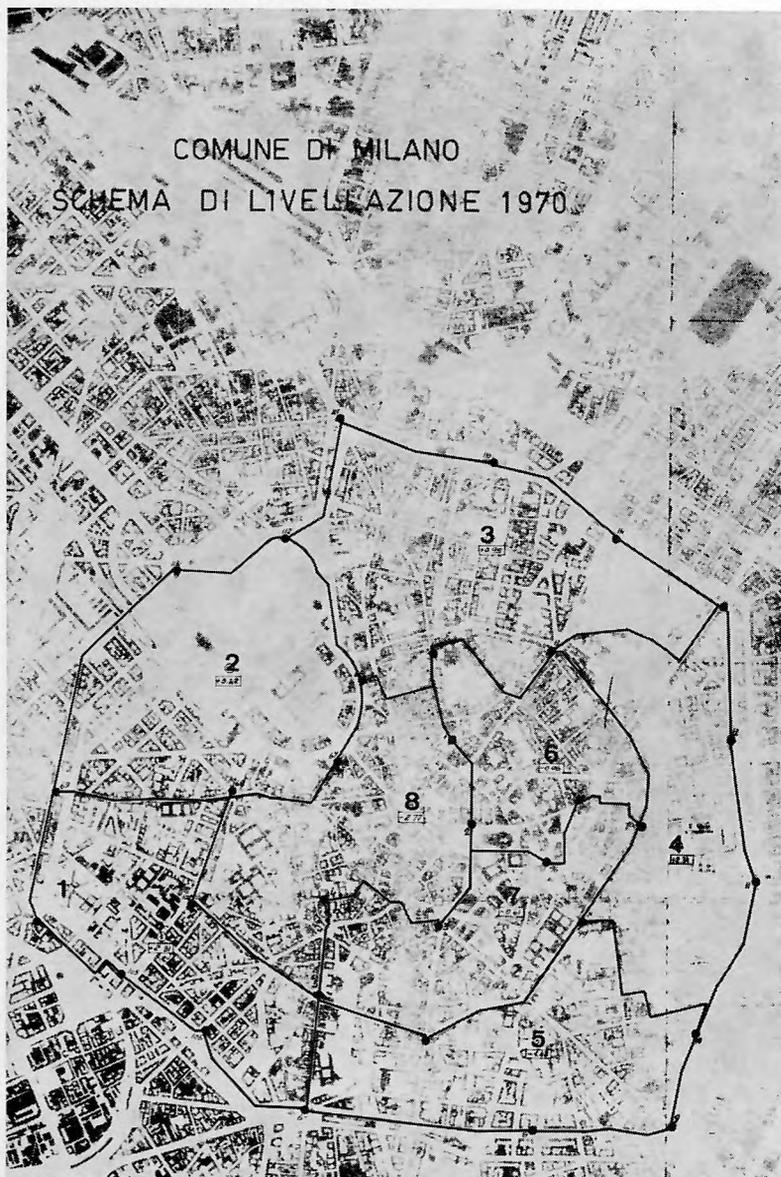


Fig. 3

L'abbassamento relativo al caposaldo 67 è molto superiore a tutti gli altri abbassamenti registrati, tutti inferiori ai 60 mm.

Interpolando poi linearmente tra i caposaldi contigui, si sono costruite le curve che collegano i punti che hanno subito uguale variazione di quota. Tali curve sono riportate nella fig. 4. Esse sono molto significative perché individuano la deformazione del suolo indipendentemente dall'aver ritenuto costante nel tempo la quota media del complesso dei caposaldi. Dall'esame del loro andamento si nota un avvallamento del terreno nella zona centrale di Milano, il cui asse ha direzione approssimativamente nord-nord-ovest: sud-sud-est.

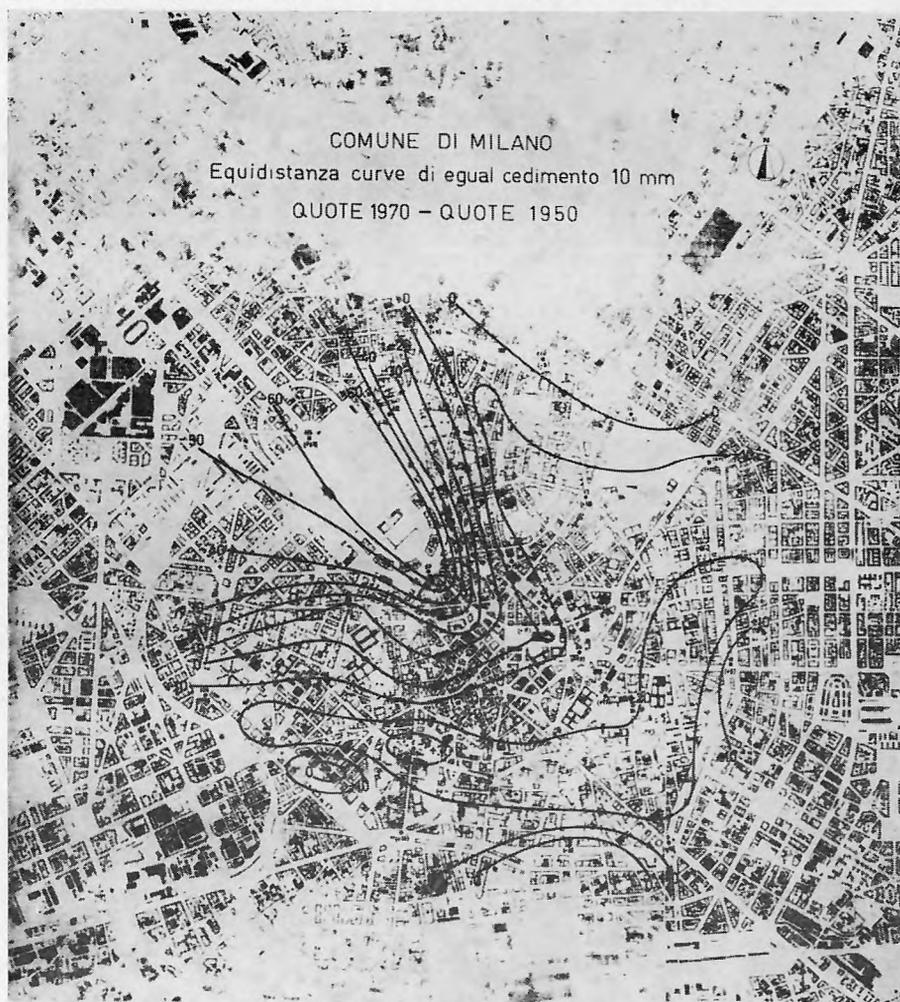


Fig 4

Contemporaneamente l'Istituto di Topografia, tramite la Veneranda Fabbrica del Duomo, si preoccupava di richiedere all'Ufficio Tecnico del Comune-Servizio Acqua Potabile una mappa relativa agli abbassamenti dell'aves nel ventennio 1950-1970. Il Comune forniva una planimetria in scala 1:20.000 con l'ubicazione di alcuni pozzi con indicato per ognuno di essi, l'abbassamento dell'aves in detto

periodo. Dall'esame di tali dati si riscontrano abbassamenti molto variabili, e cioè da un minimo di 10,90 a un massimo di 25,65 con una particolare accentuazione sulla congiungente i pozzi 19-29 che si trovano rispettivamente il primo nella zona del Castello Sforzesco, ed il secondo nella zona dell'ex scalo delle Ferrovie Varesine.

Contemporaneamente questa indagine veniva estesa presso il Servizio Fognature il cui ufficio tecnico controlla l'andamento dell'aves attraverso appositi pozzi freaticometrici distribuiti in tutta la cittadina. Tali pozzi sono però ubicati per lo più nella zona esterna al nostro rilievo per cui risulteranno utili in occasione di un auspicabile ampliamento del rilievo.



Fig. 5

Per interpolazione tra i dati registrati ai singoli pozzi si sono tracciate le curve di uguale abbassamento dell'aves.

stanza arbitrario. Nella figura 5 sono riportate delle possibili curve. Al fine poi di confrontare le curve di uguale abbassamento dell'aves con le curve di uguale cedimento del suolo, entrambe sono state riportate in un unico disegno che costituisce la fig. 6.

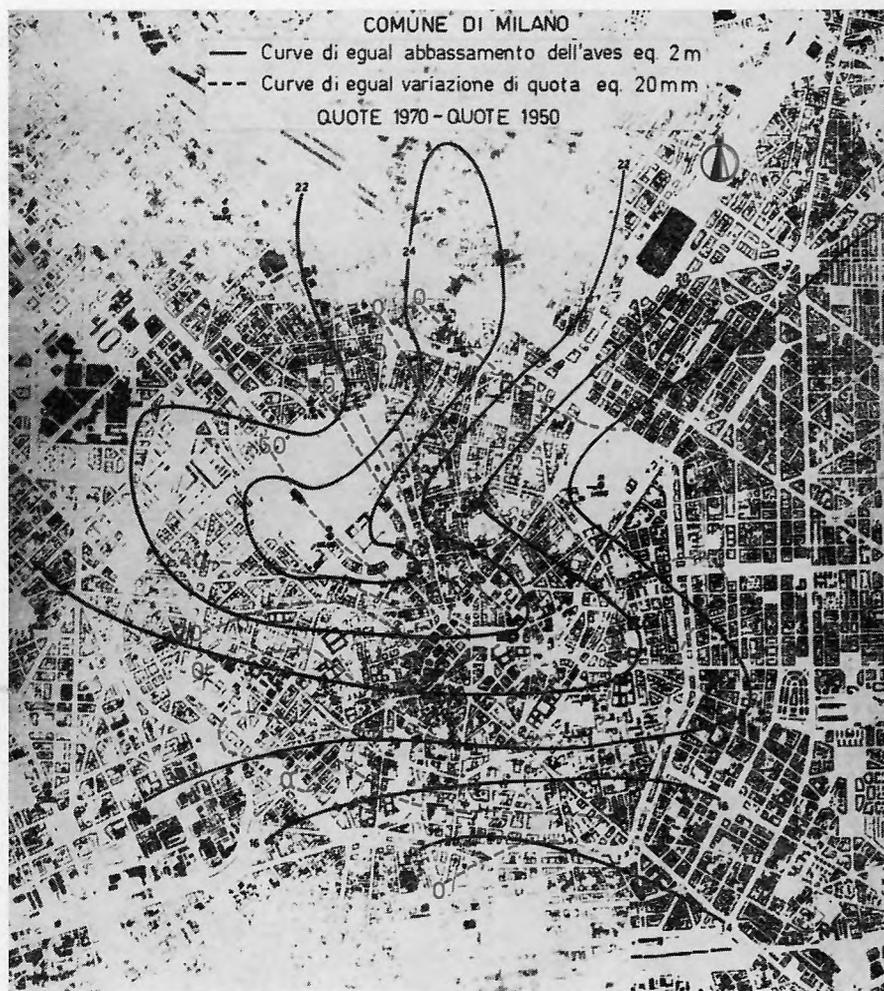


Fig. 6

Dal confronto delle due famiglie di curve non si può trarre una risposta conclusiva al quesito proposto. Ci sembra però di poter dire che una certa correlazione esiste tra i due fenomeni analizzati: infatti le zone di maggiore abbassamento del terreno, che si accentrano intorno al caposaldo 67, sono attraversate dalle curve di massimo abbassamento dell'aves (20, 22, 24 m), mentre le zone che denuncerebbero un innalzamento del terreno sono interessate dalle curve di minore abbassamento dell'aves. È auspicabile, al fine di meglio studiare la correla-

zione tra i movimenti del suolo e gli abbassamenti dell'aves, che venga estesa la rete di livellazione specialmente alle zone piú ricche di pozzi sotto controllo.

Inoltre per uno studio piú approfondito del fenomeno ritengo che sia indispensabile, e comunque interessante, conoscere la natura del sottosuolo e la sua uniformità. Il sottosuolo milanese è costituito, nella sua parte superiore, cioè quella interessata dagli abbassamenti dell'aves, da formazioni alluvionali costituite da depositi di sabbia e ghiaia intercalati da estese lenti di argilla; il materiale piú grossolano diminuisce con l'aumentare della profondità per sparire intorno ai 40-50 m.

Il problema, appena affrontato in questa relazione, è certo del massimo interesse e di estrema importanza in quanto il fenomeno degli abbassamenti degli aves è ormai a carattere mondiale e che in questi ultimi anni si va accentuando in modo impressionante specie nelle zone piú densamente abitate. La determinazione di una legge di correlazione tra abbassamento dell'aves, abbassamento del terreno, e natura del terreno sarebbe della massima importanza, anche per la conseguenza che gli abbassamenti del suolo possono avere sulla statica delle costruzioni ed è proprio dallo studio di tali possibili conseguenze che è nata l'operazione di controllo di cui si è parlato nella presente relazione.

DISCUSSIONE

L'ing. Vitelli rileva con piacere la collaborazione che è stata attuata, come afferma la relatrice, fra istituto di ricerca ed ente statale; ricorda i lavori di livellazione eseguito dall'Amministrazione catastale e fa delle proposte per nuovi lavori in collaborazione fra Politecnico di Milano e Direzione dei SS.TT.EE.

Il prof. Cunietti rileva a tal proposito che occorre far intervenire, nel caso di piú estese operazioni di misura, l'ufficio tecnico del Comune di Milano, che è l'Ente interessato ai rilievi.

Il prof. Mazzon mette in luce il fatto che i caposaldi altimetrici posti nelle vicinanze di corsi d'acqua, mutano sensibilmente di quota col variare del regime idrico del corso.

Il prof. Mucaria ricorda come, in occasione di rilevamenti per autostrade, si siano riscontrati degli spostamenti nei caposaldi della livellazione IGM di alta precisione, di ben 3 cm: «caposaldi» dunque, o «campomobili»?

L'ing. Ornati afferma che dei caposaldi IGM posti nelle vicinanze del Po hanno fatto riscontrare abbassamenti enormi: il col. Lombardi chiede allora se di tali differenze si è fatto cenno all'Istituto; in caso negativo, ricorda come l'IGM sia grato a tutti coloro che, per averne preso atto, segnalino variazioni avvenute nei caposaldi o nei vertici relativi alle reti planimetrica ed altimetrica.

Il prof. Prescia chiede al col. Lombardi informazioni circa le variazioni che l'Istituto può aver riscontrato, nell'aggiornare la cartografia siciliana, a causa dei movimenti sismici degli anni passati.

