

La Sky Tower: un'esperienza unica per il controllo dimensionale di un edificio tra i più alti del mondo

- *E' stato recentemente portato a termine ad Auckland uno dei progetti più ambiziosi mai realizzati in Nuova Zelanda.*
- *Nella costruzione della Sky Tower ci si è trovati ad affrontare problemi fuori dall'ordinario per il mantenimento del controllo dimensionale*



La Sky Tower è l'edificio più alto dell'emisfero meridionale. Concepita con la duplice funzione di ricezione turistica e di comunicazione, misura 328 metri sul livello della strada (s.l.s.) e 355 s.l.m e cioè 8 metri in più della Torre Eiffel. Data la sua posizione geografica, la torre è stata progettata per resistere a venti di intensità anche superiore ai 200 km/h e a terremoti del settimo grado della scala Richter, localizzati a 40 km di distanza.

Consiste in un "corpo" di 225.6 m in cemento armato, con diametro di 12 m e spessore decrescente con l'altezza dai 500 ai 350 mm. Poggia su una base di circa 1200 mc di cemento contenente 180 tonnellate di armature (diametro 24.5 m e spessore 2.5 m); al suo interno si trovano i vani per i 4 ascensori e la tromba delle scale (la struttura è illustrata in FIG.1).

La parte inferiore della torre è rinforzata da 8 pilastri inclinati costruiti indipendentemente dal resto dell'edificio e quindi fissati al corpo con un "collare" in cemento armato post-compresso, così da distribuire parte del carico direttamente sulle fondamenta. I piani superiori vengono denominati "base" dell'antenna e sono divisi in tre zone distinte: quella più bassa è adibita alla comunicazione e al rifugio in caso di incendi; quella centrale a spazi pubblici (un ristorante panoramico e diversi livelli per la vista del paesaggio) ed è qui che la torre raggiunge la sua massima ampiezza con un diametro di 40 m; la parte più alta, infine, è riservata a diverse attrezzature per la comunicazione.

zature per la comunicazione.

Otto setti di cemento armato precompresso fissati al corpo fungono da sostegno per altrettante colonne d'acciaio che sostengono i piani inferiori della base. Il corpo, quindi, prosegue per terminare con la terrazza sul cielo (la Sky Deck) ad un'altezza di 217.9 m s.l.s.. Al di sopra si trovano soltanto una armatura in acciaio che sostiene la camera macchine degli ascensori e una lastra circolare di cemento sormontata dall'antenna tubolare di 92.6 m.

Le tecniche di costruzione sono state sviluppate, dopo accurate ricerche condotte su edifici a torre in tutto il mondo, direttamente da un'impresa di costruzioni neozelandese, la Fletcher Construction.

Per l'innalzamento del corpo principale è stato adottato un sistema di costruzione per "salti" (v. FIG.2). Ogni salto consiste nella realizzazione di un modulo di 4 m (che mediamente si completa in 1 settimana), per un totale di 57 salti. Nella pianificazione della metodologia di rilievo, quindi, si è dovuta considerare la particolarità di diversi elementi quali:

- un edificio unico al mondo
- il sistema proprietario di edificazione a salti per il corpo e le relative tolleranze da rispettare per i moduli
- i movimenti della torre dovuti a fattori climatici
- i movimenti della gru sulla sommità della torre
- i limitati spazi di lavoro

- l'effetto della compressione dovuta al peso dalla torre all'aumentare dell'altezza.

Si è dovuto tener conto anche del fatto che con il procedere dei lavori, aumentando l'altezza dell'edificio (e quindi in presenza di spostamenti rilevanti di quest'ultimo dovuti al vento ed ai conseguenti movimenti della gru), i metodi convenzionali di utilizzo del collimatore ottico accoppiato al laser, non sarebbero più stati sufficienti a mantenere l'accuratezza richiesta; inoltre, che il sistema avrebbe dovuto possedere la capacità di un funzionamento in forma continuativa e quindi anche in condizioni climatiche avverse.

Perciò si sono utilizzati GPS in modalità cinematica (RTK) per il controllo della verticalità della torre nonostante che il suo impiego in questo senso, per gli edifici di altezza superiore ai 300 m, non fosse già stato sperimentato; un teodolite con allineamento automatico e marche posizionate sulla torre e sui tetti degli edifici circostanti; un inclinometro posizionato all'interno del corpo. Ci si è avvalsi di software sviluppati appositamente per la costruzione della Sky Tower (dopo aver partecipato ad incontri con Trimble Navigation New Zealand Ltd e Geoplus New Zealand -agenti per Geodimeter), in grado di fornire dati relativi sia alla parte esterna della torre rispetto al centro teorico, sia alla rotazione delle marche sul cemento rispetto alla posizione di progetto. I dati sono stati presentati sia in forma tabulare che grafica e, soprattutto, in tempo reale.

Gli strumenti utilizzati sono elencati di seguito:

- total station Sokkia Set 2 C
- livello automatico Wild NA2
- equipaggiamento zenitale automatico Wild ZL, collegato con un laser che, in condizioni ideali, può produrre un punto luce di 5 mm a 100 m di distanza, utilissimo per lavorare di notte
- stazione totale Geodimeter 620 motorizzata
- GPS Trimble 4000 ssi
- Inclinometri serie 94 in grado di leggere con la precisione di un secondo angoli di ± 2 gradi
- PC 486 e software Trimble per l'uso del GPS, del geodimeter e dell'inclinometro.

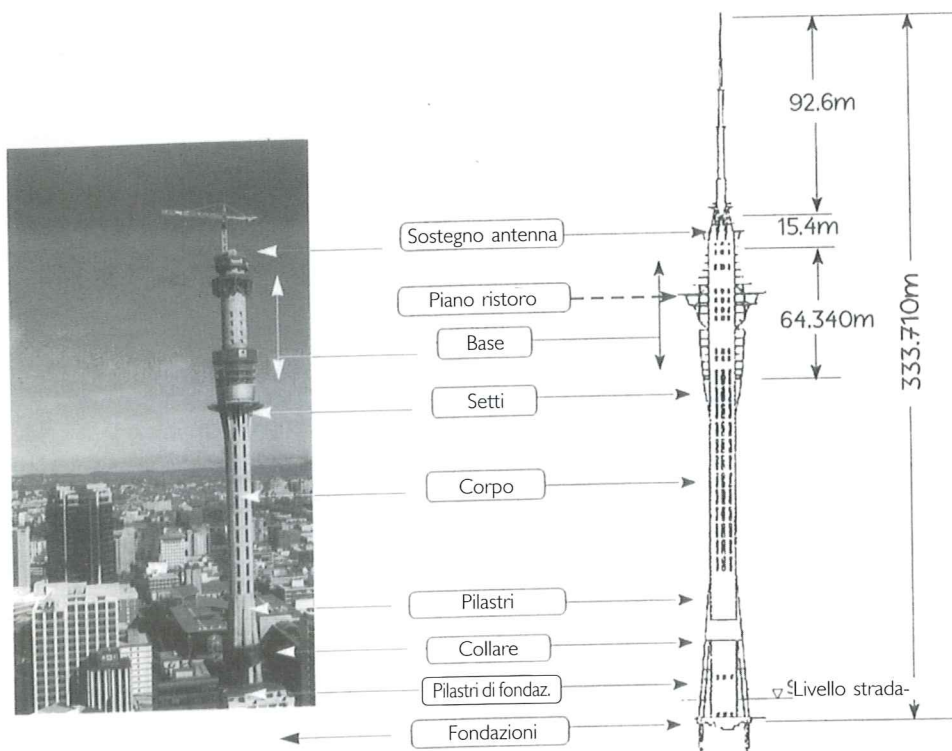


Fig. 1 - Vista generale della SkyTower.

La fase costruttiva è stata divisa in 5 parti secondo i seguenti elementi strutturali:

- fondazioni, compresa la parte inferiore del corpo ed i pilastrini
- parte centrale e superiore del corpo
- base dell'antenna
- ascensori
- struttura di sostegno e antenna di comunicazione.

Per condurre il rilievo, la prima cosa che si è fatta è stata quella di posizionare stazioni permanenti intervisibili in riferimento alla griglia di controllo con una stazione totale Sokkia Set 2C. Sono state aggiunte altre stazioni di controllo sulle sommità di tre edifici adiacenti la torre. Dopo la messa in opera delle fondazioni e prima di quella della struttura modulare, è stato condotto un rilievo topografico sulle armature soprattutto per controllare gli elementi fisici del sistema e determinare la posizione migliore per i punti di controllo. Sulla Sky Tower sono state identificate 16 postazioni sulla parte esterna ed interna del corpo, che poi sono state mantenute con il procedere (con scadenza settimanale) dell'edificazione di ciascun modulo. Inoltre, dalla ASB Tower (circa 120 m sul livello stradale) sono stati osservati i punti di controllo circostanti la torre

compiendo sia misure di angoli che di distanze per il calcolo delle coordinate, con un Geodimeter 620 (una visione globale del sistema è data in FIG.3). Tra questi punti vi sono due vertici trigonometrici della rete nazionale (sui vicini coni vulcanici Victoria Mount e Rangitoto Island) e due postazioni di

rilievo sulla struttura modulare che successivamente sono state utilizzate come stazioni per gli strumenti. Le postazioni, consistenti in parti cave di acciaio saldate alla struttura e rialzate per evitare l'ostruzione da parte delle altre, sono state collocate tramite osservazione diretta di prismi montati su mire per portare il punto di collimazione dalla sezione cava alla sommità del modulo; grazie a tale osservazione, fatta dalle stazioni di rilievo e da un'altra stazione determinata inizialmente, si è potuta stabilire una relazione fisica diretta tra i due elementi.

I risultati delle relazioni esistenti tra la posizione di progetto e quella osservata di ogni postazione sono stati presentati sia in forma di diagramma che numerica, così da consentire all'appaltatore di portare le giuste correzioni all'edificazione ad ogni stadio.

La verticalità della torre è stata ottenuta osservando le quattro marche permanenti situate sul modulo per ogni punto cardinale con un collimatore ottico di precisione Wild, dando in tal modo anche delle indicazioni sull'allineamento delle mura interne e di altri elementi strutturali.

Giunti ai pilastrini di sostegno, che si innalzano per 60 m sulla torre con una sezione di 2.4 m di cemento precompresso, la tolleranza richiesta di ± 10 mm è stata mantenuta montando molto

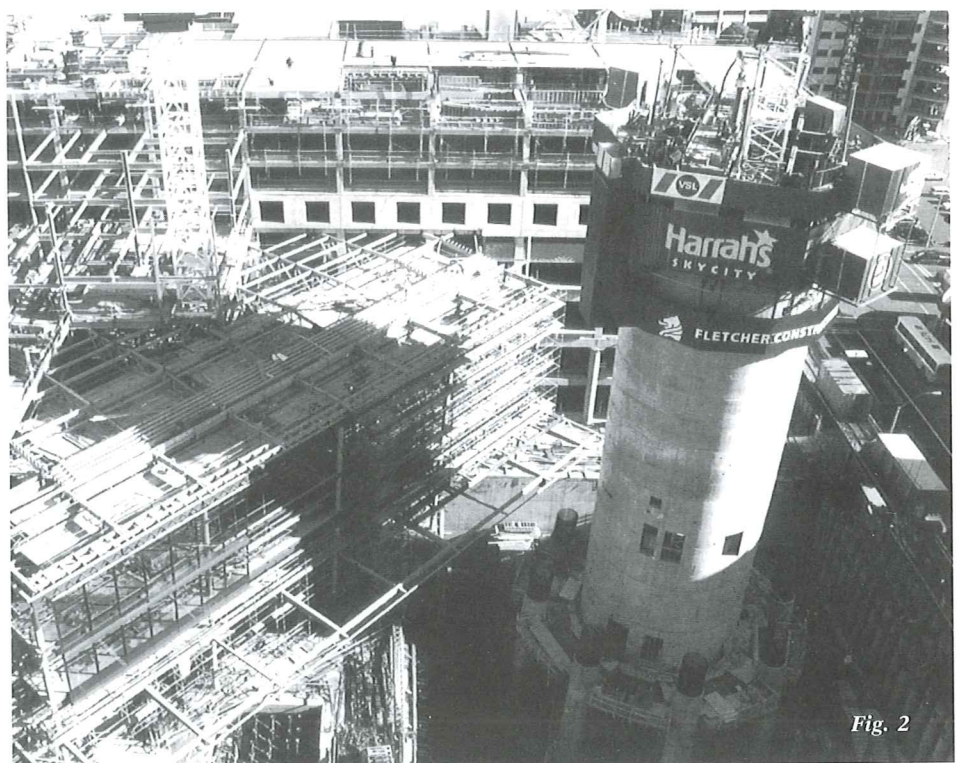


Fig. 2

attentamente degli spessori sull'estremità di ciascun pilastro, per far combaciare la struttura a collare al corretto livello con la posizione relativa della torre, fino ad un'altezza che lasciasse scoperti i ferri di rinforzo dell'armatura degli altri pilastri.

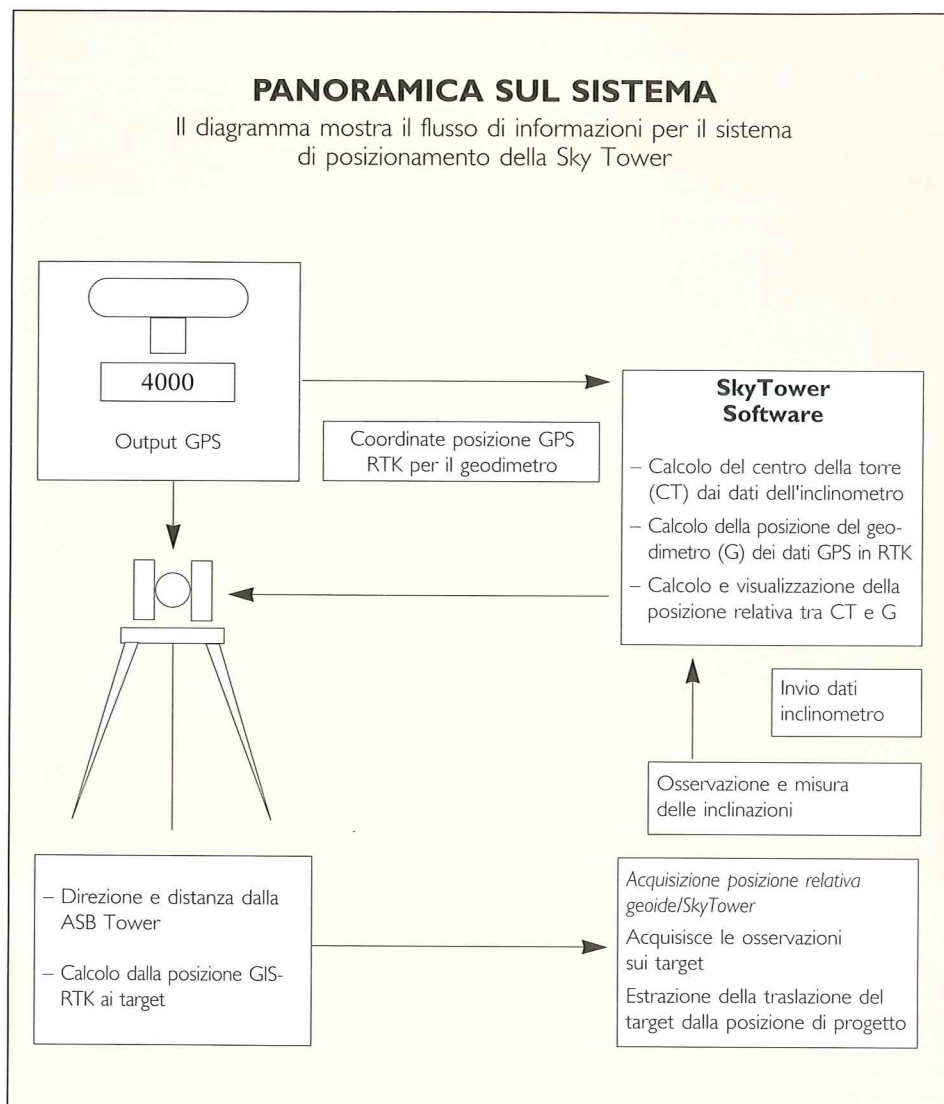
Raggiunti i 120 m di altezza si è intrapresa la costruzione del collare e così per evitare l'ostacolo da esso costituito al collimatore ottico, per il controllo della verticalità si sono utilizzati ricevitori GPS Trimble 4000 Ssi. La stazione base, a 2.25 km di distanza dall'edificio è stata affiancata da un altro GPS in modalità cinematica montato sulla struttura modulare e dalla stazione totale Geodimeter 620.

L'accuratezza della posizione assoluta del modulo rispetto alla struttura che lo sostiene di ± 19 mm è così ripartita: ± 15 relativi al GPS e ± 4 alla stazione totale.

Prima che il collimatore ottico diventasse inutilizzabile sono state condotte osservazioni insieme al ricevitore GPS per il calcolo dei parametri di traslazione, usati per trasformare le coordinate dal sistema WGS 84 in quello locale. Questa operazione è stata ripetuta diverse volte per assicurarsi che la posizione rilevata in tempo reale restituisse le stesse coordinate trovate con la traversa dalla stazione di controllo.

Ad un'altezza di 130 m sul livello stradale le deviazioni causate dal vento non si sono più potute trascurare e quindi si sono posizionati all'interno della torre (in condizioni di riposo) degli inclinometri, contenenti ognuno due livelle elettroniche montate sugli assi X e Y con relativi quadri elettronici per la lettura delle livelle stesse.

La descrizione dello stato dell'edificio è stata condotta attraverso un modello costruito appositamente (basato su 134 stati differenti della torre al variare dell'intensità del vento) e con l'ausilio di un software secondo il seguente principio: *se il modello approssima bene la pendenza misurata della torre, allora le deviazioni date dagli inclinometri approssimeranno in maniera sufficientemente accurata la medesima curva di stato della torre. La curva allora può essere utilizzata per interpolare lo spostamento della stazione di rilievo ad ogni dato livello.* Per elaborare questi dati e quelli provenienti dagli inclinometri e dalla stazione totale,



successivamente interfacciati a porte seriali, si è usato il programma Trimble HYDRONAV.

Dopo la realizzazione della base dell'antenna e dei relativi rilievi richiesti per l'orizzontalità dei piani e la verticalità dell'alloggiamento degli ascensori per il pubblico accesso, è stata rimossa la struttura modulare ed è iniziata la fase di costruzione del piedistallo vero e proprio alto circa 15 m. Al di sopra di questo vi è una base di cemento armato di 2 m di spessore cui è ancorata l'antenna. L'elemento critico di questa fase è stato appunto il livellamento di questa base, che è stato compiuto agendo sui bulloni che vi erano inseriti per il fissaggio dell'antenna.

Il lavoro complessivamente è durato due anni e mezzo con due inverni particolarmente piovosi ed un ciclone nell'estate 1997 fuori stagione. Raggiunti i piani più alti si è data una grande

importanza alla soluzione RTK sostanzialmente perché le posizioni delle stazioni di controllo sugli edifici circostanti risultano oramai troppo basse. Infatti, una volta sistemato e calibrato il sistema sulla griglia locale, le coordinate del GPS in RTK sono state direttamente utilizzabili facilitando il nostro lavoro, (svolto invece inizialmente stabilendo i punti di controllo su ogni modulo costruttivo dalle stazioni di controllo esterne e quindi con un notevole dispendio di energie).

Don j Ruegg, responsabile del rilievo,
Harrison Grierson Consultants Ltd,
Auckland, Nuova Zelanda