

Analisi meccanica, termo e fluidodinamica

del Tornado di Arcore (MI) [IT20010707-1125]©

di Diego Valeri [1],

collaboratori:

Andrea Griffa [2]

(ITALIAN WEB EDITION)

(May 28th, 2007)

[1] analisi a mesoscala e a piccola scala. Risoluzioni equazioni meccaniche, termo e fluidodinamiche del Tornado

[2] analisi sinottica, e carte al suolo (P, RH(%), T°C)

1.0 Abstract

L'Italia, vista la sua posizione nel Mediterraneo, può essere interessata da fenomenologie cicloniche violente, statisticamente aumentate nel corso degli ultimi 20 anni. Nell'articolo, in "formato WEB", è descritto, con un elevato grado di dettaglio tecnico, il Tornado che ha colpito, nell'estate 2001, il settore settentrionale della Regione Lombardia, producendo ingenti danni e provocando (fortunatamente, senza vittime, vista anche l'elevata densità abitativa) 92 feriti tra la popolazione cittadina, compresi 2 ricoveri in ospedale. Eventi vorticosi di questa portata sono frequenti nella zona suddetta, anche a causa della presenza del bacino umido Padano. L'evento della Brianza è catalogato con la sigla **IT20010707-1125**, nell'archivio del "**Thunderstorm Team**". La sigla IT indica la nazione dove si è verificato l'evento (IT = Italia); i numeri indicano, rispettivamente, l'anno, il mese, il giorno, l'ora e minuti in T.U.. L'utilizzo di codici rende più immediata e univoca l'individuazione del fenomeno in qualsiasi momento, anche in presenza di eventi analoghi nella stessa zona e/o regioni limitrofe. Per questioni espositive, si riportano solo la temperatura media ambientale nella zona T°(amb): 25±2°C, prima della dinamica temporalesca, e la relativa temperatura del punto di Rugiada.

Per una trattazione dettagliata sull'analisi sinottica, e della relativa Supercella generatrice l'evento vorticoso, si rimanda al sito del "ThunderStorm Team": www.thunderstormteam.it.

2.0 Introduzione

Nella mattina del 07 Luglio 2001, tra le 10h 25±5m e le 10h 45±5m G.M.T. (*Greenwich Meridian Time*), un'ampia fascia in prossimità di diversi centri abitati, quali: Concorezzo, Usmate, Velate, Vimercate, Agrate e Arcore, tutti in provincia di Milano, è stata interessata da un evento Tornadico. Per quest'ultimo, si dispone di numerose informazioni: testimonianze, documenti fotografici e due video, postati sul sito del "**Thunderstorm Team**" da A.Griffa, liberamente scaricabili. Grazie a tali informazioni è stato possibile quantificare una serie di parametri caratteristici dell'idrometeora (in quanto ogni evento presenta peculiarità uniche, quali:

- **cinematica e geometria della nube temporalesca,**
- **velocità delle correnti ascendenti e discendenti dal temporale,**
- **rapporti specifici tra Mesociclone e Tornado,**
- **tipo di Tornado in base alle caratteristiche morfologiche e termodinamiche,**
- **dimensioni, dinamica e cinematica del Tornado, nelle varie fasi fotografate e/o riprese video,**
- **lunghezza completa della traccia al suolo e relativa traiettoria,**
- **velocità dei venti, potenza media e trasferimento dell'energia al suolo,**
- **calcolo azione dinamica sulle strutture** (in questo caso prefabbricati industriali e strutture cemento armato)
- **stima del grado Fujita e Fujita-Person, TORRO e correlazioni associate,**
- **comparazioni statistiche tra le scale suddette,**
- **conclusioni e comparazioni con stime precedenti di meteofili e/o professionisti.**

N.B. - (I primi 4 punti e gli ultimi due sono disponibili nella versione completa dell'articolo)

Come citato, l'analisi del fenomeno è praticamente completa, tenuto anche conto delle precedenti interpretazioni delle carte al suolo alla connessa situazione sinottica, in quanto *“l'evento è da includere in uno dei pattern più significativi per la genesi di supercelle tornadiche nel Nord Italia: la classica saccatura che affonda sulla Francia e causa lo scorrimento del getto da SW verso NE sulle regioni settentrionali, un repentino calo dei geopotenziali e un consistente afflusso freddo in media Troposfera. In questo modo i parametri termodinamici, in primis il gradiente termico verticale, e gli indici riguardanti lo shear verticale si impennano, e sono pronti a generare temporali di violenta intensità (A.Griffa)”*.

3.0 Analisi del Tornado

3.1 L'inizio...

L'immagine (**Fig.3**), è certamente la più spettacolare: il Tornado, con un netto cono rovesciato, si abbatteva in pieno centro cittadino! Il fenomeno vorticoso ha avuto origine:

“Alle 12.25 prende vita un incredibile tornado dalla forza semplicemente micidiale. Osservate la maestosità del cono, caratterizzato oltre che dalla grandezza anche da una completa condensazione fino al suolo... (A.Griffa)”

Per poter meglio comprendere le termodinamica tornadica è preferibile distinguere le trombe d'aria nelle due maggiori categorie:

- quelle violente di **TIPO I**, collegate ad una circolazione Mesociclonica, descritta da un modello “Combined Rankine Core Vortex”. Esso è caratterizzato da un “corpo solido” in rotazione, circondato da un potenziale vortice, il Mesociclone vero e proprio, nel quale la velocità dei venti tangenziali è inversamente proporzionale al raggio (variabile dai 3 ai 9 km) dello stesso, associato a supercelle temporalesche a diversi potenziali (LP e HP) (**Fig.1**);

- i **TIPO II**, deboli, di piccolo raggio, generati da temporali non Supercellari. Appartengono a questa categoria gli eventi vorticosi, tipo “landspout”, “waterspout” e “gustando”.

Fig.1 - Rappresentazione schematica della circolazione interna di una classica Supercella temporalesca. Sono evidenziati: il flusso d’aria richiamato dalla circolazione Mesociclonica (*inflow*), la corrente ascensionale (*updraft*) rotante, la corrente discendente (*downdraft*) e i “getti” alle quote medie. Notare anche la separazione dei fronti al suolo (*fronts on the ground*).

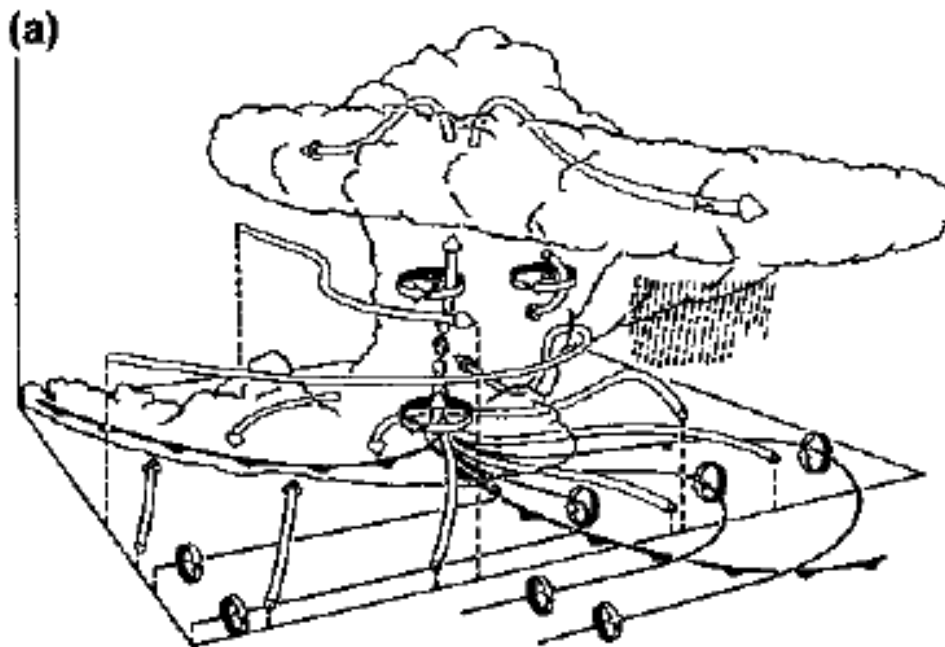


Fig.2 e 3: Il “touch down” del Tornado. L’inizio dell’evento è stato localizzato nel comune di Concorezzo (MI). L’immagine mostra il funnel che si estendeva verso il suolo (a sinistra) e la tromba d’aria ormai formata (a destra).

Fig.2

Fig.3



Fig.4 e 5 – L'F2 in azione... I fotogrammi mostrano alcune istantanee, effettuate nei pressi della periferia di Arcore. Notare l'eleganza a tronco di cono rovesciato con venti che sfiorano gli alti gradi F2 della scala. Interessante la regolarità e la geometria dell'imbuto e la caotica "debris clouds" (foto di G.Tardone, Centro Meteorologico Lombardo).

Fig. 4

Fig.5



3.2 Stima QUALITATIVA di diversi autori

Prima di procedere alla sintesi dello studio completo, è interessante analizzare alcune stime e/o opinioni di altri autori, ricavate da siti Internet e/o forum di Meteorologia. In dettaglio:

“... l'apice è stato già raggiunto ad Arcore, l'F3 è già stato prodotto. Osservate la quantità di detriti spaventosa alzata dal mostro: impressionante...” (A.Griffa)

La Redazione del 3B Meteo, portale Internet di Meteorologia, su un articolo d'approfondimento, stima la “forza” dell'evento:

“Dalle testimonianze delle persone infatti oltre ad oggetti pesanti scagliati in aria e tetti di capannoni letteralmente sollevati, il fenomeno ha non solo spostato automobili sul suolo ma in alcuni casi le ha addirittura sollevate con persone all'interno dell'abitacolo e fatte ribaltare. Per questo tipo di azione la scala Fujita prevede un valore tra 1 e 2 per cui possiamo con certezza affermare che il fenomeno della Brianza può essere classificato come Tornado F2, un tornado di debole-media violenza”

Ancora altre stime:

“Tornado F3-F4 Sulla Brianza” (G.Tardoni)

“La tromba d'aria che ha raggiunto la massima intensità proprio in questa zona (grado F3 della scala Fujita) si esaurisce nei pressi della zona industriale di Velate e del campo da golf del medesimo comune” (Stefano Nava).

In ultimo, interessante la riflessione del Meteorologo dell'ERSAL (Servizio Meteorologico Regionale), ripresa dal Bollettino bimestrale della Protezione Civile della Regione Lombardia (anno 3, n°15 – Settembre Ottobre 2001):

“...ritengo che l'evento del 7 Luglio, al di là dell'immediata risposta all'emergenza, debba essere considerato da tutte le parti in gioco (servizio meteo, protezione civile, volontari, cittadini) anche nel medio e lungo termine come un utile stimolo per attivare iniziative migliorative di previsione e

prevenzione... La stima proposta da Il tornado del 7 luglio 2001 è stato classificato di “grado F3”... Si tratta della prima volta che un tornado di questa forza colpisce il nostro Paese”. (Gian Paolo Minardi)

Si riportano, quindi, le “stime” dei diversi autori, i quali classificano il Tornado della Brianza in base alla casistica dei danni raccolti e alle testimonianze più o meno dirette, associate alla scala Fujita (1971):

- [1] **Redazione del 3B Meteo** **F2**
- [2] **autore sconosciuto** **F2**
- [3] **Stefano Nava** (Associazione Meteo Nimbus) **F2-F3**
- [4] **Andrea Griffa** (Associazione ThunderStorm Team) **F3**
- [5] **Mauro Giovannoni** (autore del sito www.Tornadoit.org) **F3**
- [6] **Giovanni Tardoni** **F3**
- [7] **Giovanni Tardoni** (Centro Meteorologico Lombardo) **F3-F4**

In questo caso le stime sono abbastanza omogenee e riferite alla fascia centrale della scala. Considerando le stime doppie, si evince che dal 29 al 43 % gli osservatori stimavano il grado F2, dal 57% al 71% un F3 e, in ultimo, tra lo 0% e il 14 % un F4! Le valutazioni, precedentemente riportate, si riferiscono a danni e a testimonianze di terze persone, le cui “informazioni” sono già parzialmente distorte e/o amplificate. Una stima del grado, nella “zona di caos” (e quindi di massimo danneggiamento, associato al massimo grado raggiunto), spesso in assenza di sopralluoghi, è troppo arbitraria, perché oltre ai danni diretti della meteora, ci sono, sommati, quelli indiretti prodotti dai vari detriti che agiscono in tutte le direzioni su altri oggetti presenti nell’aree limitrofe. Quindi, la stima SOGGETTIVA dei danni è l’elemento che introduce la maggiore incertezza sui dati, a causa della mancanza di un riferimento oggettivo di confronto.

E’ vitale sottolineare che l’intervallo di scala tra il grado F2 a quello F4, della scala Fujita, comprende un intervallo troppo ampio di valori. Si va dai 51 (184) ai 116 m/s (418 km/h), con una larghezza della traccia al suolo massima compresa tra i 51 e i 1450 m. **Si passa da un diametro del cono 28 volte più grande ad un errore, associato alla misura, del 2800%! Sono escluse nell’articolo le varie stime**

postate sui forum di Meteorologia: in essi si è attribuito il grado semplicemente osservando delle schegge di metallo conficcate nei muri! E' da rimarcare come le precedenti "perizie" siano ottenute dai danni ottenuti con la scala Fujita, senza effettuare controlli sulle variabili termodinamiche e/o parametri affini dell'idrometeora. **La stima basata unicamente sui danni è estremamente soggettiva, di libera interpretazione e di limitata valenza scientifica! E' impreciso correlare la "forma" di danno con la velocità dei venti, in quanto spesso non si conosce la tipologia costruttiva degli edifici.** Lo stesso T.Fujita era cauto nelle valutazioni, e diversi studi degli ultimi anni, effettuati presso il Dipartimento "Wind Wind Science and Engineering Center" dell'Università del Texas (*Texas Tech University*), sotto la supervisione del "U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology" (NIST) del Texas (USA), modificano la scala Fujita (1971), correlandola con una graduazione più flessibile e direttamente connessa ai danni, conosciuta come **EF-Scale (*Enhanced Fujita Scale*)!** Nella EF-Scale, si considera la massima raffica raggiunta entro un intervallo di tempo definito, per tipo di edificio, e si ricava la velocità dei venti tangenziali, successivamente correlati con le scale classiche (FPP e/o F): questo permette una stima precisa del grado Fujita associato all'evento, senza procedere con l'empirico metodo "alla garibaldina" della stima ad occhio! Quindi per la stima dei venti tangenziali di un Tornado, e del relativo FPP associato, è necessario conoscere le caratteristiche della Tromba d'aria in azione.

Solo la videoripresa e/o la sequenza fotografica, oltre che studio dettagliato dei parametri termodinamici (da sondaggi e carte), schermate da radar Doppler e dati spettrali da satelliti, permettono di capire su quale ambiente antropico (centro urbano, periferia, aperta campagna, ecc.) sta agendo la meteora, e la relativa evoluzione nel tempo e nello spazio. Solo così si può effettivamente dire che si è trattato di un F4 o di un F2! Conoscere l'insieme delle informazioni che si possono dedurre dalle varie fonti, portano necessariamente una stima univoca del grado Fujita, associato al Tornado, e non più stime diverse, per autori differenti, basati su dati parziali (una singola foto, un albero abbattuto, qualche tetto scoperchiato): **il grado è uno solo, e si riferisce alla massima velocità tangenziale dei venti.**

Inoltre per la fenomenologie tornadiche, di tipo europeo, meno intense di quelle americane, è più corretto rifarsi alla scala TORRO, che fornisce dei gradi più dettagliati in base alla velocità dei venti di taglio. Per i motivi sopra esposti, l'autore preferisce utilizzare la scala TORRO (1972), correlata con la Fujita (1971), ma determinata analizzando tramite software tutti i dati oggettivi ricavati sulla Tromba d'aria.

3.3 Un passo indietro...e stima QUANTITATIVA

3.3.1 Il software di analisi dei dati...

Il programma, ideato e realizzato dall'autore, rappresenta l'evoluzione e la versione definitiva di alcuni precedenti software, compatibili con piattaforme WIN e MAC:

- “*ITALIAN TORNADO Vers.2.0* ” © (2001)
- “*ITALIAN TORNADO Vers.3.0*” © (2004)

Il progetto risale a circa 10 anni fa, quando le informazioni e i modelli meteorologici sulla genesi ed evoluzioni dei Tornado, hanno raggiunto ragguardevoli livelli di dettaglio, grazie a campagne osservative, quale, ad esempio, la VORTEX (1995). La lentezza del calcolo manuale in merito alla determinazione dei parametri dell'idrometeora, le difficoltà d'integrazione dell'equazioni e le stime grossolane della scala Fujita, effettuate sugli stessi eventi, compiute da professionisti (e non) in questo campo estremo della meteorologia, hanno spinto l'autore a realizzare un programma che “risolvesse” i suddetti problemi nell'ambito della fenomenologia Italiana, settore, fra l'altro, totalmente trascurato! Dapprima il programma è stato sviluppato secondo modelli semplici, utilizzati nella *Vers.2.0*, poi, raffinati e sempre più complessi con l'impiego dell'integrazione numerica, del calcolo differenziale e dei plot grafici relativi, anche di tipo statistico, sviluppati nella *Vers.6.0*. I modelli e l'equazioni, utili per risolvere la termodinamica atmosferica e la relativa meccanica dei fluidi dei Tornado, sono aggiornate al Dicembre 2005 e sono maggiormente basate su studi americani tra il 1970 e il 2005, adattati al contesto meteorologico e geomorfologico italiano. Visto il notevole impegno intellettuale dell'autore, l'enorme quantità di dati, da studiare e trascrivere in formato digitale, e il relativo tempo di sviluppo e test del software, durato circa 4 anni, il programma nella *Vers.6.0*, non è attualmente di pubblico dominio e/o realizzato per fini commerciali.

3.3.2 ...e le modalità d'analisi dei dati

Da programma (*Italian Tornado Software V.6.0 Pro*[®]) al computer, tramite analisi incrociata delle informazioni, si calcola, con un basso grado d'errore (probabilità >90%), l'appartenenza dell'idrometeora ad una determinata classe, discriminando però la "forza" entro la stessa: bassa, intermedia o alta classe. I dati in ingresso, per il "Tornado di Arcore" erano "puliti", in quanto ottenuti da studi su una sequenza fotografica e da video amatoriali. L'oggettività delle riprese ha permesso di ricavare una sola soluzione al problema e di ottenere tutti i risultati geometrici, termodinamici e fluidodinamici esposti nel lavoro. Quindi, l'analisi al computer fornisce un quadro d'insieme completo sulla situazione che un osservatore, posto nelle vicinanze del Tornado, avrebbe visto e documentato. Le operazioni hanno richiesto, solo per i dati del Tornado, 4 giorni di calcoli in automatico, con due PC QUAD4!

La situazione in merito al Tornado, oggetto di studio in questo articolo, è la seguente:

- le informazioni, ricavate da fonti video e fotografiche, sono buone. Gli errori, calcolati direttamente dai frames video e dai fotogrammi, introducono "minime" incertezze nei computi ottenuti dal software.
- Le riprese, seppur limitate temporalmente, hanno permesso di ricavare la velocità della corrente ascensionale media.
- Si dispone (finalmente) di un software che riduce, nell'arco di qualche giorno, operazioni complesse e di non facile risoluzione in una forma elegante, diretta e facilmente utilizzabile. In teoria, se si disponessero dei dati in ingresso per i Tornado Italiani, avvenuti dal 1900 al 2007, si potrebbe ottenere, per ognuno di essi, uno studio completo ed altamente scientifico, realizzando mappe, statistiche d'evento e persino "previsioni" nel breve e medio periodo. Si passerebbe da studi amatoriali a quelli professionali!

In pratica, il programma cerca una soluzione convergente all'equazioni, "forzando" sugli algoritmi in esso contenuti. Se lo scarto tra le soluzioni è maggiore di alcuni coefficienti statistici, invece di fornire un singolo valore (x), tipo: "il Tornado è stato un F0", mostra le possibili soluzioni (x e y), attribuendo alle stesse una "probabilità d'evento", tipo: "il Tornado è stato con probabilità del 80% un F0 e con una probabilità del 20% un F1", situazione verificata nello studio del Tornado di Catania, scaricabile dal

portale del T.T.. Per ogni percentuale sono calcolate le caratteristiche fisiche della Tromba d'aria. Se invece c'è convergenza nelle soluzioni, allora, entro un dato valore di errore e d'attendibilità statistica, il calcolo è unico (x)! Quest'ultimo caso riguarda il Tornado della Brianza: la soluzione delle equazioni differenziali con elementi al "contorno", ha fornito un'unica soluzione convergente (con **attendibilità statistica del 93%**) verso la stima FPP: **F2!** In effetti, c'è una bassa probabilità valutabile intorno al 7%, associata ad un grado F3, ma è legata ad errori e incertezze nelle misure, e una probabilità del 0.0012%, per un F4. In pratica le ultime due soluzioni, a rigor scientifico, sono trascurabili.

3.3.3 Perché si sovrastima il grado Fujita?

In concomitanza di eventi estremi, i testimoni vivono in prima persona situazioni eccezionali al di fuori delle normali routine quotidiane: pertanto, non hanno elementi pregressi nella memoria che forniscano basi di confronto. Senza entrare in un contesto di socio-psicologia, in quanto esulerebbe da questo articolo, è possibile evidenziare due azioni inconsce che il cervello mette in atto per poter interpretare razionalmente ciò che sta elaborando durante la visione del fenomeno:

1) il confronto dell'oggetto con elementi "noti" nell'inconscio, presenti nella scena (alberi, strutture, edifici, ponti, rilievi montuosi, ecc.), per poter dare una dimensione spaziale e temporale, visto che ogni azione compiuta dall'essere umano, nel proprio piccolo, avviene proprio nelle 4 dimensioni: tre spaziali (x,y,z) e una temporale (t). E' simile a ciò che succede quando si osserva la Luna piena, sorta sopra l'orizzonte, in prossimità di orografie e/o particolari del paesaggio: è percepita con un diametro angolare apparente più grande! Cosa che non avviene quando si alza sulla sfera celeste, a causa della mancanza di confronto con gli elementi del paesaggio: questo introduce errori grossolani di stima;

2) uno schema mentale interpretativo di quello che si sta vivendo! Il cervello provvede ad effettuare una selezione di tutte le informazioni che provengono dal mondo esterno, attraverso i 5 sensi, creando un modello della realtà, fuso con le proprie esperienze individuali. Questo determina un'alterazione percettiva del fenomeno, che viene

confrontata con eventi simili (del passato): “...è simile al Tornado di X, stimato un Fx”, quindi è un Fx” oppure “...dai danni fatti è un Fx” e interpretato con la propria esperienza soggettiva : “ secondo me, è un Fx, perché...”. Tra l’altro è pratica diffusa confrontare una sensazione, un’idea non confermata oggettivamente, ecc. con scale scientifiche, ricavate da rigorosi calcoli e studi, protratti per decine di anni. Dire che **“il grado Fujita è X perché i danni sono Y”**, come spesso succede e da quando esposto nei paragrafi precedenti, è privo di fondamento, finchè non si è analizzato il fenomeno su ogni prospettiva possibile. Solo così si potrà dire: **“ il grado Fujita è X, perché l’insieme delle informazioni (danni, per tipologia costruttiva, compresi) sono Y”** E’ necessario, per comprendere tutti i fenomeni naturali, non limitarsi a descrivere le proprie sensazioni, ma analizzarli scientificamente nei particolari, studiandoli a tavolino, in un secondo momento. In questo modo tutti gli eventi saranno univoci, descritti e utili per fini di Protezione Civile e studi avanzati.

4.0 Determinazione della traccia al suolo

4.1 Stima statistica dai dati disponibili

Analizzando la testimonianza di A.Griffa, si ricavano informazioni su alcuni punti di traccia del percorso. In dettaglio:

“...il percorso specifico compiuto dal tornado: il "touch down" della tromba d'aria è avvenuto nel comune di Concorezzo, da qui si è diretto verso il paese di Trezzo potenziandosi e raggiungendo la strada provinciale. Da qui è passato per la zona industriale di Concorezzo, dirigendosi verso Arcore e alcune frazioni limitrofe. Successivamente il tornado si è diretto verso Usmate-Velate terminando ivi il suo percorso... (A.Griffa)”

“... in direzione NE ho visto distintamente un cono di una tromba d'aria (tunnel cloud) ed era possibile vedere addirittura degli oggetti che venivano aspirati. Il tutto si è spostato velocemente in direzione N ... (Stefano Nava)”

Ulteriori dettagli in merito alla collocazione temporale (in ora legale estiva) dell’evento:

“ Ore 12.20. Il cono non ha ancora toccato terra, ma presumibilmente si è già formato al di sopra dei campi che si trovano tra la frazione S. Damiano nel comune di Brugherio (MI) (45° 34' 04" N; Long. 09° 18' 14" E 154 m s.l.m.) e il comune di Concorezzo (MI) nei pressi della località Malcantone (45° 34' 51" N 09° 19' 14" E 160 m s.l.m.) e procede con una velocità di circa 6 m/s verso NE.

“Ore 12.25. La tromba d'aria tocca terra in località Malcantone nel comune di Concorezzo (MI) nei pressi del grande incrocio semaforizzato. L'edicola che dista circa 40 metri dall'incrocio...”

“Alle ore 12:45 è tutto finito...”

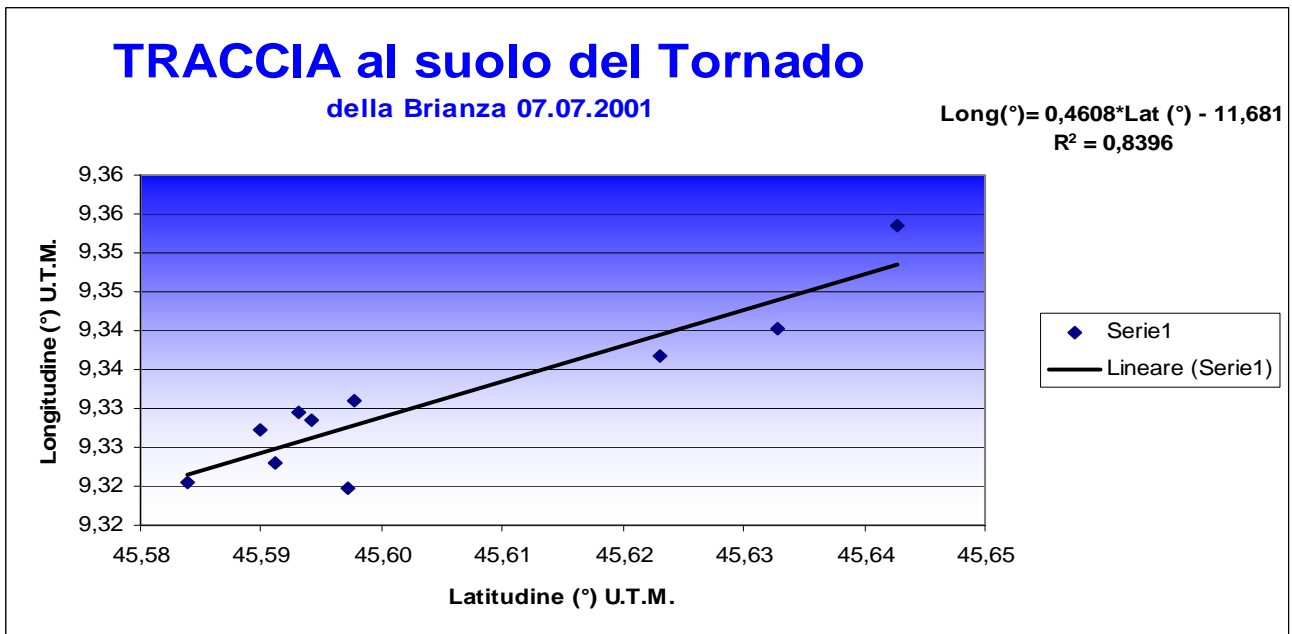
Il punto d'osservazione, utile per inizio traiettoria è situato, quindi, presso il comune di Concorezzo, in località Malcantone, in prossimità della via 1° Maggio (Lat. 45° 35' 02" N, Long. 09° 19' 14" E a 162 m s.l.m). In sequenza ha interessato:

- Via Brodolini Maggio (Lat. 45° 35' 24" N, Long. 09° 19' 38" E a 171 m s.l.m);
- strada provinciale per Trezzo Lat. 45° 35' 28" N, Long. 09° 19' 23" E a 167 m s.l.m) al confine con Monza;
- dogana e la zona industriale di Concorezzo, in prossimità di via Roma (Lat. 45° 35' 39" N, Long. 09° 19' 43" E a 172 m s.l.m);
- via Monte Grappa (Lat. 45° 35' 35" N, Long. 09° 19' 46" E a 170 m s.l.m);
- Via Piave (Lat. 45° 35' 52" N, Long. 09° 19' 52" E a 172 m s.l.m);
- Via Monte Rosa (Lat. 45° 35' 50" N, Long. 09° 19' 11" E a 170 m s.l.m). Alcuni autori indicano che il cono si è sollevato, per poco, toccando nuovamente terra tra Arcore ed Oreno (informazione non verificabile con i dati video e fotografici disponibili);
- parte orientale di Arcore (via Toti) Lat. 45° 37' 23" N, Long. 09° 20' 12" E a 194 m s.l.m);
- frazione Bernate di Arcore, al confine con Usmate-Velate (via Grandi 45° 37' 58" N, Long. 09° 20' 25" E a 200 m s.l.m) e Tobagi;

Il punto finale della traiettoria è collocato nei pressi del campo da golf di Usmate-Velate (coordinate medie: Lat. 45° 38' 34" N, Long. 09° 21' 13" E a 217 m s.l.m).

Il numero di dati disponibili e la buona qualità degli stessi, permette d'ottenere un'analisi statistica della traccia sul terreno, che rappresenta, scientificamente, la più probabile soluzione reale al problema. Quindi si ricava un segmento al suolo, con quota media di 180 ± 21 m s.l.m., e un dislivello assoluto di 55 ± 6 m s.l.m. e una lieve pendenza di 0.0073 (0.73%) corrispondente ad un angolo di $0^\circ.4203937$ con azimuth orario, rispetto al Nord geografico, di $29^\circ \pm 4^\circ$ (tra NNE e NE). Quindi la meteora si spostava da SSW-SW verso NNE-NE. Dai dati disponibili, si calcola una traccia "completa" al suolo di 7496 ± 866 m, percorsa, tenuto conto della variazione velocità media di traslazione, tra i 7.64 ± 0.02 m/s e i 8.33 ± 0.03 m/s (valori ricavati da videoripresa), tra i 900 ± 104 s (15 ± 1 m 44s) e i 981 ± 108 (16 ± 1 m 21 ± 4 s), in accordo, entro gli errori di misura, con la velocità teorica media di traslazione orizzontale di un Tornado, comprese tra i 33 e i 50 km/h. Notare l'ottima "stima visuale" di 6 m/s, rispetto al valore ricavato e la stima, fornita da M. Giovannoni sulla lunghezza del percorso: 7 km!

Graf.1– Il grafico mostra la regressione lineare, ottenuta interpolando i valori di latitudine U.T.M. con la longitudine U.T.M. del Tornado. Molto buona il coefficiente statistico di regressione (R^2) che stima l'attendibilità dei dati in ingresso.



Dalle variabili termodinamiche ambientali, presenti al momento della fenomenologia vorticoso, è possibile stimare la massima velocità dei venti, che, teoricamente, può essere stata raggiunta e non superata dal Tornado: 67 ± 8 m/s (241 ± 28 km/h). E' importante sottolineare, che la velocità massima raggiunta dai venti di taglio, in realtà, è la somma vettoriale di alcuni contributi: la velocità di rototraslazione del Mesociclone e quella proprio del vento di taglio, in condizione di equilibrio ciclostrofico. In pratica un F2 agli ultimi gradi di scala! In queste condizioni, attraverso l'applicazione di modelli, la tromba d'aria può percorrere un tragitto massimo (teorico) di 9.8 km. Con i valori reali della traccia al suolo, rispettivamente ottenuti dai fotogrammi e dalla ripresa video, si evinceva come la velocità di rotazione teoriche fosse di 184 km/h (51 m/s). Questo indica che il percorso del Tornado calcolato corrisponde al tragitto reale.

5.0 Analisi del video del Tornado

5.1 Approccio geometrico al problema

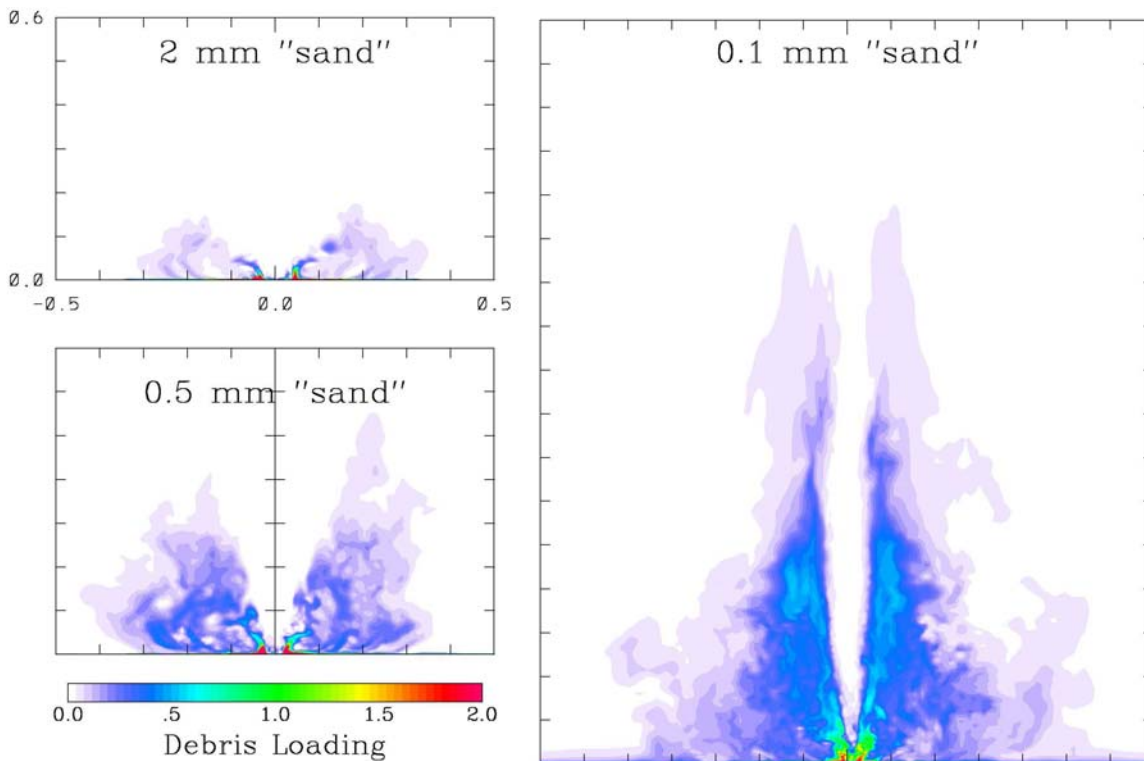
Per spiegare meglio un Tornado, è necessario introdurre alcuni concetti di Meteorologia, come i venti teorici: il vento Euleriano. In quest'ultimo la forza deviante di Coriolis (D) e la forza di scambio (o d'attrito) (S) sono trascurabili e il moto di un'ipotetica particella d'aria, alle medie latitudini e su brevi percorsi, è soggetta solo alla forza di gradiente (G). Tra i vari tipi di venti Euleriani, ne esiste un tipo particolare: il vento Ciclostrofico. Tipico delle aree di bassa pressione tropicale dove la latitudine (φ) è piccola e (D) trascurabile, si manifesta anche in eventi vorticosi, quali: Uragani (in prossimità del centro), trombe d'aria e nei turbini di sabbia e/o polvere. E' caratterizzato da un raggio della traiettoria curvilinea molto piccolo, in cui le uniche forze che intervengono sono quelle di gradiente di pressione (G) e quella centrifuga (per un sistema non inerziale) (C). Dal video si ottiene un diametro del Tornado, in "contatto al suolo", compreso tra i 6 ± 1 m e i 21 ± 2 m. Entrambi i valori (massimo e minimo) della larghezza della traccia sono ottenuti attraverso un'approssimazione geometrica. Più esattamente il punto angolare del Tornado, pur non essendo visibile nei fotogrammi, è ricavato approssimando la proiezione del perimetro del cono visibile della meteora con una funzione quadratica e cercando statisticamente quella che meglio si adatta al profilo. Le larghezze, quindi, sono incerte a causa della difficoltà oggettiva di discriminare i vari flussi nel punto angolare, area di

contatto tra il terreno e l'idrometeora, caratterizzata da turbolenza e relativa complessità nel descrivere la circolazione dell'aria. Essa è una zona di discontinuità complessa, in cui interagiscono caoticamente diversi flussi: quell'inflow dell'aria dell'ambiente circostante verso l'imbuto, quello dell'outflow del downdraft, richiamato nella rotazione mesociclonica e il flusso discendente al centro dell'imbuto che viene attirato dal moto vorticoso delle prime due verso l'alto. Inoltre è importante sottolineare che una tromba d'aria, in termini geometrici del vortice, è asimmetrica. Nelle 3 dimensioni, l'asse del cono rovesciato, oltre ad non essere verticale rispetto al suolo, è eccentrico in riferimento ad una ipotetica circonferenza inscritta nella tuba, a causa della bassa circolazione (inflow, corrente ascensionale, venti tangenziali, regione angolare, ecc.) e del moto relativo del tornado rispetto al suolo. Questo complica ulteriormente i modelli.

5.2 Analisi della “Debris Cloud” o Nube Detritica

In merito al tornado è interessante considerare anche un'analisi della Debris Cloud, o nube di detriti, che la meteora solleva dal suolo come conseguenza dell'azione dinamica del suo passaggio. Semplificando, la nube può essere considerata, in prima approssimazione, come un secondo fluido con trascurabile pressione interna e un momento angolare funzione della forza di attrito con il terreno (Re). Il flusso associato dipende, quindi, dal tipo di superficie attraversata ed è funzione del tipo di particelle sollevate gravitazionalmente. Studi e simulazioni condotte da D.C. Lewellen, B.Gong e W.S.Lewellen, della West Virginia University, hanno evidenziato forma e dimensioni della debris cloud in base al tipo di particelle sollevate dal suolo. Sotto è riportato un esempio (**Fig.6**). Notare l'analogia comparativa con l'immagine di **Fig.5**, nella quale è ben contrastata la Debris Cloud. Infatti in tal caso i terreni attraversati sono ricchi di materiale agrario fine. Infatti le zone in cui è situata la traccia del Tornado sono di recente formazione geologica (Era Neozoica, iniziata 2 milioni di anni fa e costituita da due periodi: Pleistocene, il più antico, e Olocene) e quindi ricco di terreni a matrice organica. Dai calcoli effettuati sulle grandezze geometriche della nube, si evince che, mediamente, aveva una base di 21 ± 3 m e raggiungeva una quota dal suolo di 64 ± 7 m, rispetto al piano di campagna medio della zona.

Fig.6 - Simulazione di una nube di detriti formata essenzialmente da matrice granulare fine, di tipo sabbiosa, con diametri medi compresi tra 0.1 e i 2 mm,. Alcune analogie con la Debris Cloud del Tornado di Arcore, se si considera l'immagine di destra (0.1 mm “sand”).



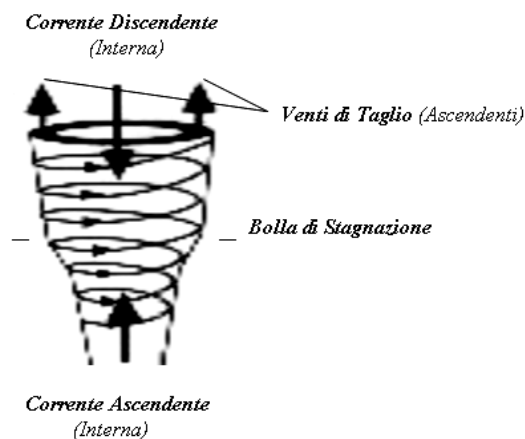
5.3 Analisi cinematica della Corrente Ascensionale e del tipo di Vortice

Dai fotogrammi della videoripresa e dallo studio di alcuni indici termodinamici si ottiene, approssimativamente, una velocità della corrente ascensionale (W), interna all'idrometeora, pari a 64 ± 8 m/s (108 ± 27 km/h). Il vortice risultante è noto agli "addetti ai lavori" come a corrente ascendente (parziale). Più in dettaglio, il singolo Tornado è caratterizzato da una certa turbolenza, con una doppia struttura. La parte alta, di diametro più grande (sempre con geometria conica), è perturbata dall'incontro delle masse d'aria (ascendente e discendente), creando una struttura turbolenta (visibile in **Fig.5**); mentre la bassa porzione, di raggio più piccolo, mantiene ancora un moto di risalita laminare, ordinato, ben descritto matematicamente. La zona di contatto tra le masse suddette, individua un nucleo di stagnazione verticale, detta bolla di stallo (*Breakdown Bubble*).

5.4 Massima velocità tangenziale dei venti

Attorno a questa circolazione interna si involgono i venti di taglio, che risalgono a 51 ± 6 m/s, spiraleggiando in senso antiorario verso l'alto, come ben visibile nella videoripresa. I calcoli, confermano nuovamente, un evento F2. Purtroppo a causa degli errori in gioco, le misure presentano incertezze nell'ordine del 30% (**Fig.7**).

Fig.7 – Morfologia e schema del Tornado di Arcore. L'immagine confronta lo schema della circolazione interna ed esterna al Tornado con la morfologia reale ripresa, le cui caratteristiche sono descritte nel paragrafo 5.3. Notare come il modello approssimi bene la Tromba d'aria reale.



Schema strutturale del Tornado di Catania

Tornado di Arcore, ripreso in una delle fasi

Per quanto concerne, la velocità dei venti di taglio del Tornado (51 ± 6 m/s), si deve sommare ad essa il contributo vettoriale delle singole componenti cinematiche legate al moto della tromba d'aria e del Mesociclone, di roto-traslazione del temporale, in condizione di bilancio ciclostrofico. In queste condizioni, la velocità massima raggiunta dai venti, è di 67 m/s (240 km/h). Questo valore rappresenta anche la velocità massima delle raffiche raggiunte al suolo e impattanti con edifici e strutture antropiche.

5.5 Stima del tempo di formazione del Tornado

Conoscendo, all'incirca, il raggio e la velocità media dell'updraft del Mesociclone e della relativa tromba d'aria si estrae, in base a coefficienti specifici, che il Tornado ha impiegato, per un diametro medio alla base della Wall Cloud di 74m, tra 12 ± 2 s e i 57 ± 7 s .

5.6 Parametri meccanici, termodinamici e fluido-dinamici, calcolati dalla videoripresa

Si riportano schematicamente le maggiori informazioni calcolate per il Tornado:

Parametri cinematici, calcolati dalla videoripresa :

- Diametro a contatto con il suolo tra i 6 e 64 ± 7 m
- Diametro in prossimità della nube a parete tra i 71 e 77 ± 7 m
- Velocità media di rotazione dei venti di taglio 51 ± 7 m/s
- Velocità massima dei venti di taglio 67 ± 8 m/s
- Velocità della corrente ascensionale 64 ± 6 m/s
- Velocità media di traslazione al suolo 8 m/s (30 km/h)
- Area di contatto al suolo 3251 ± 340 m²

Parametri meccanici, termodinamici e fluidodinamici, calcolati dalla video-ripresa:

- Stress di taglio al suolo 59 ± 9 Kg/m²
- Pressione dinamica ambientale 2099 ± 187 Kg/ms²
- Pressione Dinamica esercitata dai venti, sulle superfici (Kg/m²): 214 ± 71 Kg/m²
- Variazione pressione interna al Tornado rispetto a P_o (Pa) 4198 ± 374 Pa

N.B. - Note le variabili cinematiche, è possibile stimare l'abbassamento barometrico all'interno dell'imbuto. Esso non può essere maggiore del -20% della pressione atmosferica presente nel luogo di formazione.

- Variazione di pressione turbolenta, attiva sulla superficie di contatto al suolo 211 ± 33 Pa

- Stima tasso d'energia trasferito dal Tornado al suolo (kW) 108600±16 kW
- Tasso di conversione in energia sismica (W) 3340±36 W
- Frequenza fondamentale di risonanza (f_0)* 26±1 Hz

(*)**N.B.** - E' calcolata su un valore dei venti di taglio di 51 m/s, in accordo con una classe F2 della scala Fujita-Pearson.

- Stima potenza traslazionale media sviluppata (P_{cin}): tra 2876±305 W e 3135±362 W
- Probabilità di rivedere, entro i prossimi 40 anni, un altro Tornado nelle zone limitrofe (conf.95%) (%): 78±9 %
- Probabilità che nello **stesso punto**, per la Regione Lombardia, si verifichi una tromba d'aria (rif.Anno2005): 0.00140 %

Parametri di scala, calcolati dalla videoripresa:

- Stima scala **TORRO (T)** T4 (categoria **SEVERO**)
- Stima velocità dei venti tangenziali (scala TORRO): ~ 54 m/s
- **Stima della riduzione barometrica (scala TORRO):** ~ **3723 Pa (4% di P_0)**
- Stima scala **Fujita (F)** (1971) F2 (categoria **FORTE**)
- Stima velocità dei venti tangenziali (scala FUJITA): ~ 51 m/s
- **Stima della riduzione barometrica (scala FUJITA):** ~ **3370 Pa (4% di P_0)**
- Stima scala **Fujita-Person (FFP)** (1973) F2 (categoria **FORTE**)
- Stima velocità dei venti tangenziali (scala FUJITA-PEARSON): ~ 51 m/s
- **Stima della riduzione barometrica (scala FUJITA-PEARSON):** ~ **3370 Pa (4% di P_0)**

N.B. - I modelli indicano per un tipico F2 (scala FFP) una larghezza della traccia al suolo compresa tra i 50 e 70 m, una lunghezza della stessa tra i 5150 e i 16000 m e venti tangenziali nell'intervallo tra i 51 e i 70 m/s (184 e i 252 km/h). **La larghezza della traccia al suolo, variabile tra i 6 e i 20 m (±7 m, è in contrasto per questa categoria, indicando un F1.** Come precedentemente accennato, l'ampiezza del "solco" è incerto, in quanto ricavato d'approssimazioni matematiche. Quindi, il Tornado in analisi era sicuramente un F2 di alto livello di scala, salvo ulteriori dati su fasi o eventi ripresi da altri testimoni che possano modificare lo studio effettuato!

E' bene puntualizzare che nel resoconto "*La drammatica mattinata del 7 luglio 2001 - Tromba d'aria in Brianza*", postato dal Centro Meteo Lombardo, all'indirizzo: www.meteolombardo.it, è fornita "*una prima analisi la larghezza del corridoio paria a circa 500 metri*"! In realtà, la stima si riferisce, presumibilmente, alla somma di diversi contributi: fronte del Tornado + la sezione della fascia di danno, due grandezze lineari correlate ma totalmente distinte! E' importante considerare che in zone urbanizzate, non è possibile definire univocamente la larghezza della vera traccia, o l'eventuale variazione spaziale della stessa, associata alla meteora, e le eventuali cuspidi, come avverrebbe in campo aperto! Questo determina un alto grado d'incertezza, comprendendo nella "vera" traccia al suolo, anche le zone laterali detritiche. I valori ottenuti sono in buon accordo, considerando gli errori e le stime in gioco, con quelli calcolati per la sequenza delle testimonianze visive.

5.7 La variazione cromatica della nube tornadica

Il colore grigio, nelle varie tonalità delle nubi, è legato a fenomeni di rifrazione e diffusione della luce, come accennato nella versione integrale dell'articolo e non trattato in questo lavoro, ed era dovuto all'azione combinata della condensazione del vapor acqueo atmosferico e dal velo di polveri e detriti alzati dal suolo, al passaggio del Tornado.

6.0 I danni associati

6.1 Elenco sommario dei danni materiali

In questo paragrafo sono elencati sommariamente i principali danneggiamenti avvenuti nelle zone, come riportati da varie fonti: Rete Internet, Meteo forum, giornali e riviste. Sono stati segnalati danni nella provincia di Milano, in modo particolare sono stati danneggiati i comuni di Arcore, Concorezzo, Usmate Velate, Vimercate e Agrate. I danni hanno interessato:

- 1) **abitazioni civili:** da una prima rilevazione si registrano più di 200 edifici, alcuni con danni da lievi a rilevanti. Parte di queste abitazioni sono

- cooperative, di cui alla legge n. 167, abitate da giovani coppie e da famiglie di lavoratori con redditi medio – bassi;
- 2) **aziende agricole:** danneggiate casali con danni irreparabili al raccolto stagionale, oltre ai danni subiti dalle strutture aziendali, per un totale di 10 miliardi di lire (circa 5 milioni di euro);
 - 3) **aziende artigianali e piccole e medie imprese:** danni strutturali, danneggiate le strumentazioni di alta tecnologia, caratteristica peculiare delle aziende di questo territorio;
 - 4) **grandi industrie** (Dalmine s.p.a., Folletto s.r.l., Ital-Lamiere s.r.l.), in tutto 242: con l'esigenza di riattivare al più presto l'attività produttiva per salvaguardare sia l'occupazione in questa zona, sia il loro mercato. Sono stati coinvolti a causa dei danni subiti dalle imprese più di 2.000 lavoratori, molti dei quali vedono pregiudicata la loro attività lavorativa per più mesi. La Dalmine 350 dipendenti, con 80.miliardi di lire di danno (41 milioni di euro) La Ital-Lamiere conta 130 dipendenti;
 - 5) **opere pubbliche:** strade, linee elettriche dell'alta tensione, illuminazione pubblica, segnaletica stradale e verde pubblico;

In merito alla situazione descritta, all'epoca dei fatti, la Regione Lombardia aveva presentato al Consiglio dei Ministri, la richiesta di "calamità naturale", per ricevere finanziamenti da destinare alle attività produttive danneggiate, in oltre 240 aziende. Sul "Sole 24 ore" del 10.07.2001, è riportato un dettagliato trafiletto, sulle azioni intraprese dagli enti pubblici e dalle unità di soccorso, nelle 24 - 48 ore successive all'evento. Inoltre nella Seduta del 12 luglio 2001, la Camera dei Deputati ha risposto alla richiesta di calamità naturale, tramite un apposito atto Parlamentare n° 319 ALLEGATO B. I vigili del fuoco e i volontari hanno continuato a lavorare per la rimozione di macerie, per il ripristino di tetti spazzati via dalla furia dell'aria, alcuni piccoli imprenditori hanno chiamato a raccolta gli operai nel tentativo di rimettere in sesto i capannoni e riprendere al più presto la produzione.

6.2 Danni a persone

Fra i 92 feriti, ci sono stati due ricoveri all'ospedale San Gerardo di Monza. L. Galbusera di Lomagna (Lecco), sbalzata dall'auto ad Arcore, è stata ricoverata in rianimazione in coma vigile per un trauma

cranico; mentre G.Biscardi, di Monza, è stata colpita alla testa da alcune tegole cadute da un capannone a Concorezzo, ed è stata ricoverata in terapia intensiva nel reparto di neurochirurgia.

6.3 “Danni Collaterali”

La fascia colpita dal Tornado, è stata interessata, per diversi giorni dopo l’evento calamitoso, da fenomeni di sciacallaggio, a danno di case, capannoni, fabbriche e altri beni e proprietà, in concomitanza delle sistemazioni provvisorie alle persone sfollate, rimaste senza tetto e ospitate presso parenti e amici, o persino presso oratori. Altri preferirono vigilare, accanto alle forze dell'ordine, sulle proprie case per tenere lontani gli “sciacalli”.

6.4 Valutazione economica dei danni

Dai documenti disponibili, la valutazione economica dei danni, in linea di massima, considerando i disagi e danneggiamenti elencati nel precedente paragrafo, può essere quantificabile in 600 miliardi di lire (circa 26 milioni di euro).

6.5 Analisi delle forze, relative ai danni

La zona interessata dalla tromba d’aria presenta un’alta densità abitativa, con oltre 2000 abitanti/km² con edifici progettati in muratura e cemento. Passando dall’analisi qualitativa dei danni a quella quantitativa degli stessi, studiando in dettaglio l’elenco disponibile dei danneggiamenti, e improntando dei modelli d’analisi delle azioni dinamiche del campo dei venti al suolo, è possibile calcolare e/o stimare le forze e quindi le velocità in gioco, per meglio descrivere se le zone interessate erano direttamente centrate dalla meteora o se invece colpite marginalmente dal fronte delle raffiche. Dall’equazioni si ricava una pressione dinamica del vento intorno ai 2.1 quintali/m², valori più che sufficienti per trasportare piccoli oggetti a distanza e sradicare alberi con medio apparato radicale. In media, la forza del vento è proporzionale al quadrato della velocità! Analizzando in dettaglio alcuni rilevanti fotogrammi, per ottenere il ribaltamento di oggetti, in questo caso autovetture (modello Alfa

Romeo 164, il cui peso a pieno carico è di circa 186200 N), è necessario un momento ribaltante maggiore del momento resistente del corpo. Da i calcoli la sola spinta dinamica non è stata sufficiente per ottenere questo risultato. Pertanto è necessario chiamare in causa altri elementi dinamici. In generale, un'oggetto si solleva sia per effetto diretto della forza impulsiva che impatta sullo stesso, appena descritta, sia per l'azione di "portanza" alare, dovuta alla forma dell'oggetto, generata a causa dell'asimmetria nella forma dei flussi leggermente differenti, che portano ad una ulteriore spinta verso l'alto. A questi contributo bisogna sommare quello della dislocazione dell'oggetto rispetto ad eventuali corpi e detriti impattanti con esso (**Fig.8 Fig.9 e Fig.10**).

Fig.8 e Fig.9 – Azione di portanza e effetti dello spostamento – Le immagini seguenti mostrano gli effetti dell'azione del Tornado su alcune autovetture, nelle più svariate posizioni! Lo schema di Fig.8, mostra la forza risultante, dallo scorrimento di due flussi a velocità differenti lungo la sagoma dell'oggetto

Fig.8

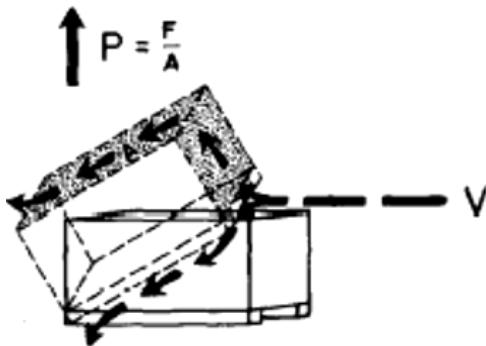


Fig.9



Fig.10 Un parcheggio alternativo... Il fotogramma è eloquente circa le modalità di parcheggio adottato dall'idrometeora.



6.6 Immagini dei danni arrecati

In genere i danni apportati da qualsiasi evento vorticoso sono imputabili a tre cause: forze impulsive $[F(t)]$ generate dalle raffiche del vento tangenziale; forze generate da urti anelastici tra (e con) i vari detriti sulle superfici bersaglio, con tempi d'impatto nell'ordine del secondo, e in ultimo, con un contributo limitato, forze generate dall'azioni aerodinamiche del Tornado. Le seguenti immagini si riferiscono ai danni prodotti dal Tornado nelle campagne lombarde. A parte i danneggiamenti primari, a capannoni industriali e autovetture, esiste tutta una casista relativa a danneggiamenti secondari, dovuta ai detriti in volo. Fra essi: lamiera zincate, molti dei quali recuperati ad circa 1 km di distanza dalla traccia la suolo della meteora.

Fig. 11 e Fig.12 – Danni primari del Tornado. In dettaglio, lo sfondamento dei pannelli perimetrali in cemento precompresso, di un capannone industriale adibito a magazzino.



Fig.13 e Fig.14 - Detriti depositi in prossimità di un elettrodotto a media tensione e lungo la strada provinciale, temporaneamente chiusa al traffico dalle forze dell'ordine.



Fig.15 e Fig.16 – Detriti in campagna! Saracinesche in lamiera zincata divelte dai detriti depositi e lamiera “appese” in prossimità di un elettrodotto ad alta tensione da 380 KV, con amperaggio di circa 1500 A, in prossimità del centro abitato di Bernate di Arcore, presso l'“epicentro” del Tornado.

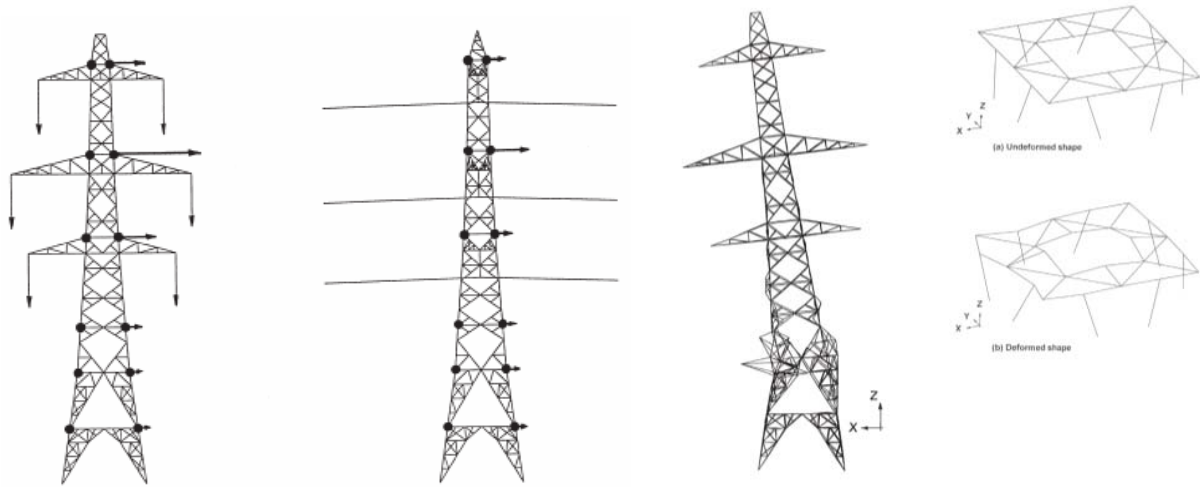


6.7 Danni a carico degli elettrodotti

Fra le immagini più eloquenti, quelle relative all'abbattimento dei tralicci dell'alta tensione e il ribaltamento di auto in sosta, ci forniscono ulteriori informazioni sulle forze in gioco, in merito alla dinamica del Tornado. Attraverso lo studio della scienza delle costruzioni, è possibile definire i valori delle forze che hanno direttamente interessato le intelaiature metalliche dei tralicci elettrici, dette: torri. Le Torri per la distribuzione dell'energia elettrica hanno un'altezza e caratteristiche meccaniche, definite in base alla differenza di potenziale applicato alla linea (kV) e alla intensità di corrente trasportata (A). Come precedentemente accennato, le forze indotte dal Tornado sono di tipo impulsivo, in quanto possono arrivare a centinaia di kN, agendo per un tempo breve (qualche secondo). Esse, come tutte le grandezze vettoriali, possono essere scomposte nelle proprie componenti, secondo un sistema di riferimento locale (x,y,z) o generale (Latitudine, Longitudine, e Altitudine), sia o no inerziale, e analizzate singolarmente in base alle geometrie di impatto con la sezione del manufatto investito. Le torri sono essenzialmente delle strutture metalliche reticolate, in cui i carichi esterni, sia verticali (i cavi, gli isolatori, ecc.) che orizzontali (le azioni dinamiche del vento, di eventi sismici, ecc.) sono applicati in particolari punti strutturali: i nodi. L'angolo d'incidenza della traccia del Tornado, rispetto al rettilineo della linea elettrica, variava tra i 50° e i 90°, a causa sia dell'irregolare disposizione spaziale delle torri sul terreno, sia per l'incertezza statistica relativa alla traccia calcolata del Tornado. Questo determina un ventaglio di soluzioni in merito ai possibili valori delle forze agenti sui tralicci.

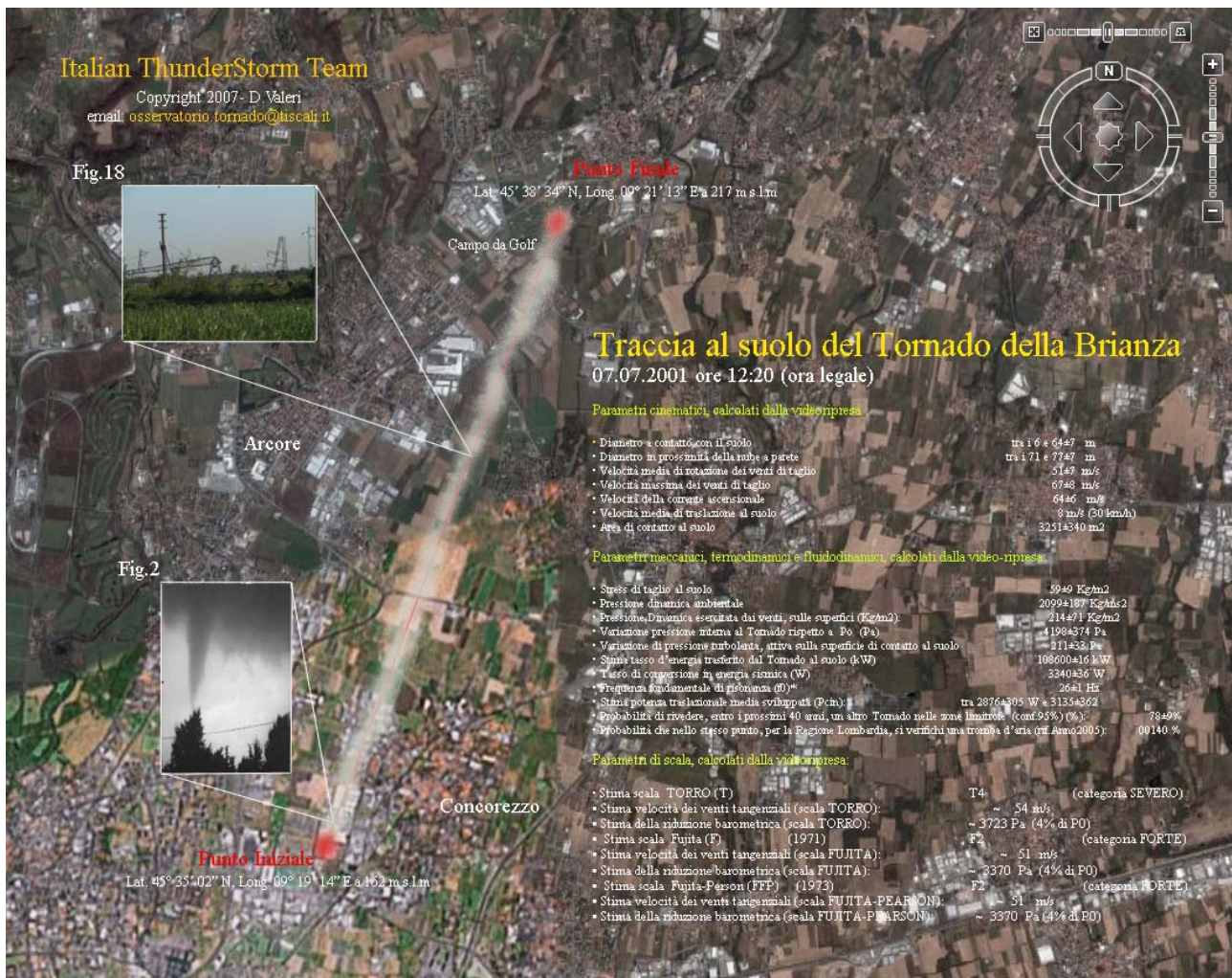
Considerando il valore limite di 90° , si ricava una spinta più che sufficiente a creare forze di torsione nei nodi, con relativo collasso degli stessi, e quindi della struttura (**Fig.17 e 18**).

Fig.17 e Fig.18 – *Rappresentazione schematica di una torre di linea a 380 kV*, nella quale sono rappresentati i nodi (punti neri) e i relativi vettori delle relative forze orizzontali (freccie nere). Le linee orizzontali, nell'immagine destra, sono i fili dell'alta tensione, ovviamente, supportati dal traliccio.



7.0 Conclusioni

Fig.19 – Immagine risolutiva del fenomeno! L’elaborazione grafica mostra un’immagine satellitare della zona in prossimità di Arcore (MI), con sopraimpresso la direzione e il tragitto del Tornado, così come ricavato dai calcoli. Sono riportate anche le coordinate U.T.M. del punto iniziale e finale della traccia al suolo e tutti i dati, esposti nell’articolo ottenuti dalle testimonianze e dalla ripresa video.



In conclusione il lavoro mostra un interessante quadro relativo all’evento vorticoso **IT20010707-1120**, che ha interessato la provincia di Milano il 07 Luglio 2001 alle 12:20 (ora solare), classificato come un

F2 della scala Fujita-Pearson (FPP) e T4 della scala TORRO, di tipologia classica a corrente ascendente. Ha impiegato tra i 15 e i 57 s e a formarsi e con un diametro di oltre 25 m, all'apice della sua manifestazione, si spostava ad una media di 8 m/s (30 km/h), producendo venti di taglio di oltre 51 m/s (184 km/h) per circa 7500 m (7.5 km) di tragitto in direzione da SSW verso NNE, impiegando circa 15 min a realizzare l'intero tragitto. Ha interessato diversi centri abitanti della Brianza. Danneggiamenti per 26 milioni di euro. Dettagli riassuntivi nell'immagine seguente. Per maggiori dettagli sul Tornado, sulle carte sinottiche, sui dati meteo e relativi radiosondaggi, correlazioni e studi sulla nube a parete, Mesociclone e sistema Supercellare associato alla Tromba d'aria, si rimanda all'articolo integrale.

8.0 Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare: **Andrea Griffa**, del ThunderStorm Team Italia, per aver fornito le analisi Sinottiche utilizzate nei calcoli, non riportate nell'articolo; **Eugenio**, contatto nel forum MeteoWeb per la ricerca delle immagini.

9.0 L'Autore



Diego Valeri – Laureato, nel 2003, con il vecchio piano quinquennale in **Scienze Ambientali**, con specializzazione

nell'indirizzo **chimico** e nell'indirizzo **geologico**, lavora nel ruolo tecnico presso la **Direzione dell'Assessorato Ambiente della Regione Lazio**. Attualmente laureando in Chimica all'Università degli Studi di L'Aquila. Ha acquisito diverse qualifiche attraverso corsi e diplomi di vario genere. Nell'ambito extra-lavorativo coltiva numerosi hobbies scientifici e non. E' socio e membro di numerose associazioni scientifiche ed ambientali e collabora con diversi enti ed istituti nazionali e internazionali.

