

L'uragano Katrina e i cambiamenti del clima

di Vincenzo Ferrara
(ENEA, Progetto Speciale Clima Globale)

Come riportato nelle analisi condotte da IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), negli ultimi 100-150 anni, è stato introdotto nel bilancio energetico del sistema climatico un flusso aggiuntivo di energia pari a circa 2.8 watt/m². E' un "surplus" di energia che le attività umane hanno introdotto, rispetto al bilancio naturale (pari a 160-170 watt/m²), e che viene denominato: effetto serra aggiuntivo a quello naturale. Questo effetto serra aggiuntivo è, per la maggior parte, causato dall'accumulo in atmosfera di gas, detti appunto gas serra, che hanno cambiato la composizione dell'atmosfera, provocando, di conseguenza, una modifica delle sue capacità termiche, modifica che, per quanto piccola (meno del 2%), è comunque significativa sul delicato equilibrio energetico del sistema climatico. Il maggiore contributo a questo disequilibrio è stato causato dall'anidride carbonica (55% circa), ma hanno contribuito anche altri gas serra originati direttamente o indirettamente dalle attività antropiche (30% circa). Inoltre, alcune cause naturali, come l'aumento dell'attività solare ed il vulcanismo hanno concorso, anche se in piccola parte (circa il 15%), ad aumentare il disequilibrio.

A causa del "surplus" di energia derivante dall'introduzione di gas ad effetto serra di origine antropica, la temperatura media globale del nostro pianeta è aumentata e tenderà ancora ad aumentare, ma tenderanno ad aumentare anche i fenomeni meteorologici estremi sia in frequenza che in intensità. Se questa affermazione, tratta dalle valutazioni di IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), può essere dimostrata con relativa semplicità sulla base delle leggi della fisica e di conservazione dell'energia, diventa, viceversa, difficile, se non impossibile, dimostrare che un singolo evento meteorologico, per quanto estremo possa essere, derivi in tutto o in parte dal riscaldamento globale.

In quanto fenomeni estremi, gli uragani più intensi e disastrosi possono, quindi, direttamente o indirettamente aumentare sia in frequenza che in intensità, in conseguenza dell'aumento di concentrazione dei gas serra in atmosfera, ma è impossibile sapere se l'uragano Katrina o altri uragani altrettanto disastrosi, avrebbero ugualmente avuto luogo se le concentrazioni di anidride carbonica non fossero aumentate ai livelli in cui sono. I singoli fenomeni meteorologici, infatti, sono il risultato di una combinazione di fattori, alcuni dei quali deterministici (derivanti dalle leggi

della fisica, tra cui appunto la maggiore energia nel sistema climatico a causa dell'effetto serra aggiuntivo) ed altri stocastici (derivanti dalla variabilità stessa del sistema climatico).

Analizzando un uragano è molto difficile individuare in dettaglio la combinazione di tutti i possibili fattori causali ed è, poi, praticamente impossibile stabilire in quale misura ciascuno di tali fattori causali abbia dato il suo singolo contributo alla sommatoria totale. Ma, se non possiamo trarre conclusioni certe sul singolo uragano, possiamo, invece, capire meglio cause, effetti, processi e correlazioni se esaminiamo opportunamente un gran numero di uragani su intervalli di tempo abbastanza lunghi.

Discorso ben diverso è quello delle conseguenze di un uragano, conseguenze che solo in parte dipendono dalla intensità e dalla violenza dell'uragano. L'uragano Katrina avrebbe potuto produrre danni maggiori o minori di quelli causati, oppure una loro diversa distribuzione (tra danni economici, ambientali e di perdita di vite umane), se il contesto ambientale fosse stato diverso da quello costiero di New Orleans e della Luisiana. In altre parole le maggiori o minori conseguenze negative derivano, non solo dalla maggiore o minore intensità dell'uragano, ma anche dalla maggiore o minore vulnerabilità del territorio, dall'esistenza o meno di rischi aggiuntivi introdotti dalle attività umane e dalla maggiore o minore adeguatezza di misure di prevenzione e di protezione.

In quanto segue cercheremo di esaminare se l'uragano Katrina, in base alle conoscenze scientifiche attuali, rientra in un quadro tendenziale di intensificazione degli uragani e se tale tendenza all'intensificazione sia o meno causata dai cambiamenti del clima; e cercheremo di approfondire se il contesto ambientale e territoriale esistente abbia avuto un ruolo più o meno importante sull'amplificazione delle conseguenze negative.

1. I cicloni tropicali

Prima di analizzare se e come è cambiata l'intensità e la frequenza degli uragani in relazione al riscaldamento climatico globale, è necessario premettere quali sono le condizioni climatiche e meteorologiche che determinano e favoriscono la formazione di un uragano, o più in generale di un ciclone tropicale ("uragano" è infatti il nome dato ai cicloni tropicali dell'Atlantico, mentre "tifone" è il nome per quelli del Pacifico e semplicemente "ciclone", per quelli dell'oceano Indiano). Ma, cercheremo anche di illustrare perché un uragano è profondamente diverso da qualsiasi altro ciclone che si manifesta alle nostre latitudini e perché un uragano non potrebbe formarsi nel Mediterraneo (a meno che la fascia intertropicale attuale non si espanda tanto verso le zone polari da includere tutta l'area del Mediterraneo).

I cicloni tropicali si originano dalla instabilità atmosferica creata dal forte surriscaldamento della superficie marina rispetto all'atmosfera sovrastante, instabilità che poi si espande su tutta la troposfera (la parte di atmosfera tra il suolo e circa 12-15 km di quota entro cui avvengono i fenomeni meteorologici) determinando intensi processi convettivi (qualcosa di simile accade, a scala spaziale molto più piccola, nella formazione dei temporali). Questa instabilità si origina perché l'aria calda e umida (più leggera) a contatto con il mare, si viene a trovare al di sotto dell'aria fredda e più secca (più pesante) che, invece, è presente negli strati più alti dell'atmosfera. I movimenti verticali di rimescolamento delle masse d'aria (moti convettivi), ed il forte contenuto energetico che viene trasferito dal mare alle masse d'aria caldo-umide, originano non solo formazioni di nubi con imponente sviluppo verticale ed una forte depressione barica, ma favoriscono anche un moto rotatorio a tutto il sistema convettivo. Questo moto rotatorio viene accelerato in senso antiorario (a nord dell'equatore), tanto più quanto maggiore è la depressione barica, a causa dalla forza deviante (o forza di Coriolis), che deriva dalla rotazione terrestre.

I cicloni tropicali sono profondamente diversi dai cicloni che noi osserviamo alle medie latitudini e che vengono definiti cicloni extratropicali. I cicloni extratropicali, infatti, hanno origini completamente diverse e nascono a causa del contrasto tra aria calda ed aria fredda, non già in direzione verticale, ma sul piano orizzontale. In questo caso, si forma una instabilità cosiddetta “frontale” (o baroclina nel linguaggio dei meteorologi), tra aria fredda, di origine polare o comunque settentrionale (per le nostre latitudini), ed aria calda, di origine subtropicale o, comunque, meridionale (per le nostre latitudini). Nella zona “frontale”, all’interfaccia, cioè, tra aria fredda e calda si formano le perturbazioni meteorologiche che ben conosciamo e di cui parlano i bollettini meteorologici.

I cicloni tropicali nascono e si sviluppano nella fascia intertropicale e sub tropicale, in una zona cioè dove le correnti aeree medie sono generalmente orientali e gli uragani, quindi, viaggiano normalmente da est verso ovest. I cicloni extratropicali, invece, nascono e si sviluppano in una fascia, quella delle medie latitudini, dove le correnti aeree medie sono generalmente occidentali e, le perturbazioni meteorologiche, quindi, viaggiano normalmente da ovest verso est.

Infine, la forza deviante e la sua variazione latitudinale, agisce in modo tale da imprimere un moto rotatorio (vorticità) molto più intenso ai cicloni tropicali rispetto a quelli extratropicali. Un ciclone tropicale, quando sconfinava dalle basse alle medie latitudini, perde la sua fonte energetica costituita dal mare, e si esaurisce rapidamente, a meno che non incontri, a più alte latitudini, una massa d’aria fredda per cui si trasforma in un ciclone extratropicale.

2. Uragni e loro classificazione

Il fattore fondamentale per la formazione di un uragano è, come detto prima, un flusso molto intenso, ma anche prolungato nel tempo, di calore e di umidità dal basso e cioè dalla superficie terrestre. Ciò è possibile solo da una sorgente ad alta capacità termica, quali sono gli oceani, purchè la temperatura delle acque oceaniche sia superiore a 26.5°C, non solo in superficie ma anche nella parte sottostante, fino ad almeno di 50-80 metri di profondità.

Le grandi masse d’acqua marine a latitudini intertropicali e subtropicali possono avere queste caratteristiche, ma le hanno soprattutto quelle localizzate in alcune aree dove per la concomitanza di fattori geografici e meteorologici, le temperature marine sono normalmente le più alte. Queste aree preferenziali di formazione degli uragani sono, per l’oceano Atlantico: il Golfo del Messico e la zona di mare circostante, interessata, tra l’altro anche dalla corrente del Golfo, ma soprattutto l’area dell’Atlantico centro-occidentale compresa tra le isole di Capo Verde ed il Golfo di Guinea).

Siccome con il riscaldamento climatico, la temperatura degli oceani tende ad aumentare e tende anche ad espandersi la superficie degli oceani con più alte temperature, ne consegue che non solo è favorita la condizione fondamentale per la formazione degli uragani, ma viene anche ampliata la superficie marina idonea alla loro formazione. Dunque, con il riscaldamento climatico dobbiamo aspettarci uragani più intensi (per la maggiore temperatura delle acque) e in maggior numero (per la maggiore estensione spaziale della superficie marina con più alte temperature).

Tuttavia, l’alta temperatura delle acque oceaniche, quantunque sia una condizione assolutamente necessaria, tuttavia non sempre è anche una condizione sufficiente. Devono sussistere, infatti, anche alcuni fattori concomitanti favorevoli, ma, soprattutto, almeno qualcuna delle seguenti condizioni:

- scarsa ventosità e, comunque, le correnti orientali intertropicali, sia al suolo che in quota, devono essere più deboli del normale: questa condizione favorisce la creazione e lo sviluppo di moti convettivi verticali che interessano tutta la troposfera;

- scarso *shear* del vento, vale a dire scarsa variazione della velocità e della direzione del vento con la quota: questa condizione implica l'assenza lungo la verticale di stratificazione di masse d'aria differenti e di moti laminari delle masse d'aria e, quindi, il rimescolamento verticale viene favorito;
- alta pressione a livello della tropopausa (12-15 km di quota) e bassa pressione al suolo: questa condizione implica che l'intera troposfera è dilatata e che sussistono già condizioni di instabilità per motivi termodinamici;
- presenza di aerosol atmosferici, questa condizione implica che la condensazione del vapore attorno a tali aerosol (che diventano nuclei di condensazione) viene favorita, e quindi la formazione delle nubi viene facilitata ed accelerata
- assenza, per quanto riguarda gli uragani atlantici, del fenomeno di El Nino sul Pacifico, che a causa delle modifiche che induce sulla circolazione atmosferica, perturba i fattori precedenti.

Gli uragani sono classificati in USA secondo una scala (scala Saffir-Simpson) basata sulla velocità media dei venti massimi al suolo che si sviluppano in seno all'uragano:

categoria 1: uragano minimo (vento compreso fra 33 e 42 m/s)

categoria 2: uragano moderato (vento compreso fra 43 e 49 m/s)

categoria 3: uragano esteso (vento compreso fra 50 e 58 m/s)

categoria 4: uragano estremo (vento compreso fra 59 e 69 m/s)

categoria 5: uragano catastrofico (vento superiore a 70 m/s)

Se la velocità del vento è inferiore a 33 m/s ma superiore a 18 m/s si tratta di tempeste tropicali, mentre al di sotto di 18 m/s si parla semplicemente di depressioni tropicali. Inoltre gli uragani di categoria 3, 4 e 5 vengono complessivamente denominati uragani maggiori, perché potenzialmente molto più distruttivi, rispetto a quelli di categoria inferiore.

La scala Saffir-Simpson, è una classificazione adottata negli USA nel 1974, ma non è riconosciuta ufficialmente a livello internazionale, anche se comunemente accettata. Questa scala, in pratica, suddivide gli uragani in base alle velocità medie massime del vento al suolo per dare una semplice e immediata indicazione della loro forza e delle loro possibili conseguenze catastrofiche. Ad ogni categoria sono, infatti, associati alcuni effetti, come l'entità delle depressioni bariche corrispondenti, l'altezza massima delle onde marine che si generano e la descrizione dell'entità dei possibili danni. E', insomma, una scala simile alla scala Beaufort o alla scala Douglas per classificare la forza del mare e rassomiglia, per molti versi, alla scala Mercalli per classificare i terremoti.

Una volta classificati in questo modo gli uragani, è possibile, *a posteriori*, stimare l'energia cinetica della masse d'aria coinvolte nell'uragano, ma non è possibile capire né le dimensioni o l'evoluzione nel tempo dell'uragano, né è possibile risalire alla sua energia interna complessiva (comprensiva cioè dell'energia cinetica e di quella termodinamica relativa alla formazione delle nubi e di cambiamento di stato del vapor d'acqua). Essendo una scala descrittiva, piuttosto che un insieme di dati e metadati, non è molto utile nel campo della ricerca climatica, pur avendo una sua validità nel campo della meteorologia operativa e delle previsioni del tempo.

Tuttavia, supponendo che tutti gli uragani siano più o meno uguali, sia in termini di dimensioni che di evoluzione nel tempo, è possibile dimostrare che il rapporto tra energia complessiva posseduta da un uragano (energia interna) ed energia cinetica sviluppata, è circa costante ed è pari a 400. In termini quantitativi, questo significa che un uragano medio che sviluppa sotto forma di energia cinetica una potenza attorno a circa 1,5 Terawatt (ovvero 1,5 milioni di megawatt), possiede una

potenza complessiva di circa 600 milioni di Terawatt, che è equivalente a circa 200 volte la potenza elettrica di tutte le centrali del mondo.

3. L'uragano Katrina

L'uragano Katrina è la dodicesima tempesta tropicale del 2005 ed il quarto uragano a colpire gli USA. Pur non essendo stato il più intenso degli uragani che hanno colpito gli USA sembra essere stato, invece, quello più disastroso o, almeno, tra quelli più disastrosi, sia per i danni provocati, sia per numero di vittime umane. Uragani più intensi di Katrina sono stati: l'uragano del "Labor Day" (è il primo lunedì di settembre) del 2 settembre 1935, l'uragano Camille del 17 agosto 1969, l'uragano Andrew del 24 agosto 1992 e l'uragano Charley del 13 agosto 2004. L'uragano più disastroso, in termini di perdite di vite umane, avvenne il 8 settembre 1900: colpì in particolare la città di Galveston nel Texas causando più di 8000 morti.

L'uragano Katrina, si è formato, come depressione tropicale, il 23 agosto 2005, sull'oceano Atlantico a sud est delle isole Bahamas, zona, questa, di origine inconsueta per gli uragani, i quali si formano generalmente a sud ovest delle isole di Capo Verde tra giugno e novembre, ma soprattutto tra agosto e ottobre. Tuttavia, non è un caso unico: prima di Katrina quasi il 50% degli uragani si era formato, nel 2005, al di fuori dell'area atlantica consueta e, precedentemente al 2005, si era osservata una tendenza allo spostamento verso più alte latitudini dell'area di formazione degli uragani.

L'evoluzione dell'uragano Katrina è stata molto rapida. Il giorno dopo, muovendosi verso est, si è trasformato prima in tempesta tropicale, poi in uragano di categoria 1 mentre transitava a sud della Florida ed, infine, è diventato un uragano (di categoria 3) il 25 agosto in pieno Golfo del Messico. Dopo un leggero indebolimento durante la giornata del 26 agosto, l'uragano Katrina si è rapidamente intensificato a causa delle alte temperature (circa 31-32 °C) delle acque del Golfo del Messico, fino a raggiungere la sua massima potenza (categoria 5) il 28 agosto, con venti di 280 km/ora e raffiche di 340 km/ora. Nella fase di massima intensificazione, la massima depressione barica nel vortice ciclonico dell'uragano (occhio dell'uragano) ha raggiunto il valore di 902 ectopascal (o millibar), un valore quasi record perché si tratta del 4° minimo depressionario più basso mai verificatosi per i cicloni tropicali atlantici, da quando si effettuano le misure. Il giorno dopo, poco prima di colpire le coste della Luisiana, l'uragano Katrina, si è attenuato (categoria 4) e poi, passando sopra New Orleans ed inoltrandosi in direzione nord verso l'interno, si è rapidamente esaurito il 30 agosto, quando ha raggiunto lo stato del Tennessee.

Per quanto riguarda le precipitazioni, l'uragano Katrina ha provocato piogge complessive pari a circa 150 millimetri (ma con punte di 400 millimetri in alcune zone) quando è passato a sud della Florida. La quantità totale media di pioggia che si è riversata sulle coste della Luisiana il 29 agosto è stata, invece, di circa 250 millimetri, ma quantità ben superiori, fino a 600 millimetri, si sono riversati a nord-est di New Orleans, tra Hattiesburg e Mobile, nel confinante stato del Mississippi. Procedendo sempre più verso l'interno, le precipitazioni si sono progressivamente ridotte mano a mano che l'uragano andava indebolendosi nel suo percorso verso nord e poi nord-est. Tuttavia, Katrina, prima di esaurirsi completamente, ha favorito, con la sua aria caldo-umida residua, la formazione di instabilità meteorologiche in Alabama e la formazione di alcuni tornado in Georgia.

Pur avendo colpito le coste della Luisiana il 29 agosto, l'uragano Katrina ha prodotto i maggiori danni a partire dal 31 agosto, cioè non immediatamente, ma solo dopo che il naturale drenaggio dell'acqua piovana, da parte del bacino del fiume Mississippi, ha indotto un innalzamento sia del livello delle acque dello stesso fiume Mississippi, sia del lago Pontchartrain, tale da superare le dighe di sbarramento e gli argini che circondano gran parte della città di New Orleans. Lo

straripamento delle acque del lago Pontchartrain ha provocato anche il cedimento di una di tali dighe e, a questo punto, l'allagamento della città di New Orleans è avvenuto molto velocemente. In gran parte dell'area urbana, il livello dell'acqua ha raggiunto mediamente i 250 cm di altezza, ma con punte, nelle zone più basse, di ben 5 metri.

Le conseguenze provocate dall'uragano Katrina riguardano il danneggiamento e la distruzione di alcune strutture petrolifere per l'estrazione del petrolio e del gas naturale posizionate nel Golfo del Messico e prospicienti le coste della Luisiana e del Texas, il danneggiamento di alcune centrali di elettroproduzione in Luisiana, la parziale distruzione e la impraticabilità di molte strade ed autostrade costiere della Luisiana ed infine danni anche all'aeroporto di New Orleans. Tuttavia i danni più ingenti sono stati provocati a tutte le strutture, infrastrutture e abitazioni della città di New Orleans dove si sono verificate anche le maggiori perdite di vite umane, stimato in un migliaio di persone, ma manca ancora un bilancio definitivo.

Oltre ai danni diretti, si sono verificati anche danni indiretti di tipo ambientale e sanitario sia a causa dell'inquinamento marino da prodotti petroliferi rilasciati in mare dalle piattaforme petrolifere distrutte o danneggiate e che sono numerose di fronte alla costa della Luisiana, sia a causa dell'inquinamento delle acque che hanno invaso New Orleans, inquinamento provocato dal cedimento della rete fognaria e a seguito della interruzione dell'acqua potabile.

I danni economici non sono stati ancora stimati ma saranno probabilmente superiori a molte decine di miliardi di dollari per la sola città di New Orleans e, forse, potrebbero superare anche il centinaio di miliardi, se si considera tutta l'area investita. L'uragano Andrew del 1992, uno dei più disastrosi per gli USA, causò danni per 25 miliardi di dollari (riportati al valore del dollaro del 2005)

4. Clima e uragani

4.1 Clima e uragani in base alla loro classificazione

Per capire se esiste una tendenza ad una maggiore frequenza ed intensità degli uragani e se questa tendenza sia o meno collegata con i cambiamenti del clima è necessario procedere ad una serie approfondita di analisi che solo in questi ultimi anni, grazie anche alla maggiore disponibilità di tecnologie avanzate di osservazione della terra e di migliori strumenti di calcolo, si sono potute effettuare con maggiore rigore scientifico.

Le prime analisi sono state quelle di tipo statistico, condotte sulla base della classificazione degli uragani, secondo la scala Saffir-Simpson. Poiché l'utilizzo di questa scala è iniziata nel 1975, si è dovuto procedere a classificare gli uragani per gli anni precedenti, sulla base dei dati di archivio disponibili, che hanno permesso di procedere a ritroso fino al 1944. Quantunque esistano dati ed informazioni sugli uragani atlantici fin dal 1800 e dati sugli uragani che hanno colpito gli USA fin dalla metà del 1600, tuttavia, la loro qualità è bassa rispetto ai dati successivi al 1944. Inoltre, andando a ritroso nel tempo, i dati sono sempre più frammentari ed incompleti, e non sempre appaiono oggettivi o scientificamente validi.

Le analisi statistiche sugli uragani effettuate da C.W. Landsea (1999), sulla base della classificazione Saffir Simpson dal 1944 al 2004, mettono in evidenza che il numero complessivo annuale degli uragani presenta una oscillazione circa venticinquennale, denominata oscillazione multidecadale degli uragani. Questa oscillazione è causata prevalentemente dagli uragani di debole intensità (classificati in categoria 1 e 2 o come tempeste tropicali), mentre gli uragani di maggiore intensità (categorie 3, 4 e 5) mostrano un andamento più costante.

Le oscillazioni multidecadali sono: quella che va dal 1944 al 1970, quella che va dal 1970 al 1995, e l'attuale che è iniziata nel 1995. Durante tali oscillazioni, vi sono periodi che si ripetono più o meno regolarmente, alternando fasi di maggiore frequenza o di più intensa attività degli uragani e fasi di minore frequenza o di minore intensità degli uragani. Complessivamente, però non si osservano chiari andamenti di lungo periodo, né verso l'aumento o la diminuzione della frequenza, né verso l'aumento o la diminuzione della intensità degli uragani.

Poiché a partire dal 1975 il riscaldamento climatico globale appare evidente (aumento della temperatura media globale pari a 0.15°C per decennio, secondo le valutazioni IPCC), questo risultato, basato sulla classificazione degli uragani secondo la scala Saffir-Simpson, non sembra mostrare, invece, alcuna tendenza né alcuna correlazione tra cambiamenti climatici ed uragani (sia in termini di frequenza che di intensità).

4.2 Clima e uragani in base alla loro energia cinetica

Poiché la scala Saffir-Simpson appare un po' grossolana per gli studi climatici, come precedentemente detto, per capire se esiste una correlazione tra uragani e riscaldamento climatico, la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration* degli USA) ha utilizzato, di recente, anche a fini previsionali, un particolare indice: l'indice ACE (*Accumulated Cyclone Energy*), proposto da Gerald Bell et al. nel 2000 ed introdotto per lo studio degli uragani dalla *American Meteorological Society*. L'indice ACE, è dato dalla somma dei quadrati della media delle velocità massime del vento, calcolato ogni 6 ore. Questa sommatoria viene estesa, senza soluzione di continuità, per tutta la durata dell'evoluzione dell'uragano e per tutti gli uragani di una stagione, comprese anche le tempeste tropicali.

In pratica, questo indice rappresenta e sintetizza l'entità dell'energia cinetica media complessiva annua di tutti gli uragani e tempeste tropicali di una data regione, ed in particolare di tutto il nord Atlantico. Utilizzando questo indice, e rianalizzando le statistiche degli uragani, si osserva che l'indice ACE ha una lieve flessione dal 1950 al 1970, un andamento più o meno costante dal 1970 al 1994 ed un rapido aumento a partire dal 1995 in poi, fino al dato preliminare del 2005 (ma con esclusione degli anni 1997 e 2002, in cui era presente il fenomeno di El Nino). Risulta, in particolare, evidente che gli uragani sono complessivamente diventati sempre più intensi a partire dal 1995, anche se la loro frequenza non appare sostanzialmente cambiata rispetto ai periodi precedenti.

L'indice ACE mostra, inoltre, una buona coerenza con l'andamento della temperatura media globale, ma soprattutto una buona correlazione con le anomalie termiche medie della temperatura superficiale delle acque dell'Atlantico. Poiché nell'ultimo decennio la velocità del riscaldamento globale è aumentata, rispetto ai decenni precedenti, tanto che tutti gli anni compresi fra il 1995 ed il 2004, ad esclusione del 1996, sono stati anni record per la temperatura media globale (nella serie storica di dati della NOAA che inizia dal 1880), si deduce che esiste una correlazione tra cambiamenti climatici (riscaldamento climatico) e uragani (aumento della intensità), anche se questa correlazione è molto più evidente solo a partire dal 1995.

4.3 Clima e uragani in base alla loro potenza distruttiva

Quantunque questa analisi sia più approfondita, rispetto a quanto si può desumere dalle analisi statistiche degli uragani, classificati solo secondo le categorie di Saffir-Simpson, essa rimane pur sempre incompleta, perché pur tenendo in qualche modo conto dell'energia cinetica degli uragani in relazione alla loro durata ed alla loro evoluzione, non si tiene conto che la violenza degli uragani e

le loro capacità distruttive dipendono dal contenuto energetico complessivo (energia cinetica, calore latente, ecc.) che genera la loro potenza distruttiva.

In una ricerca pubblicata su *Nature*, il 4 agosto 2005, K. Emanuel del MIT (Massachusetts Institute of Technology), ha affrontato questo aspetto calcolando la potenza complessiva dissipata da un uragano che è proporzionale al cubo della velocità del vento e dipende dall'attrito (meccanico e termodinamico) delle masse d'aria che si abbattono al suolo. L'indice che rappresenta e sintetizza questa potenza è stato denominato PDI (*Potential Dissipation Intensity*) e, analogamente all'indice ACE, è stato utilizzato per tutti gli uragani annuali, tenendo conto non solo della loro evoluzione temporale, ma anche delle loro dimensioni spaziali. Analogo calcolo è stato esteso anche ai tifoni del Pacifico.

I risultati ottenuti mostrano che, pur non essendo cambiata sostanzialmente la frequenza degli uragani e dei tifoni, tuttavia la loro intensità, in termini di potenza distruttiva, è aumentata a partire dalla metà degli anni 70 fin quasi a raddoppiare in questi ultimi anni. La maggiore intensità degli uragani e dei tifoni, complessivamente considerati, è, inoltre, ben correlata con il concomitante aumento, tra il 1975 ed il 2004, della temperatura media sia dell'oceano Atlantico che dell'oceano Pacifico a latitudini subtropicali, aumento che, a sua volta, è correlato e dipende dal riscaldamento climatico globale, intervenuto nel frattempo. Analizzando separatamente i tifoni del Pacifico e gli uragani dell'Atlantico si nota che la correlazione tra potenza dissipata e temperatura dell'oceano è migliore sull'Atlantico rispetto al Pacifico.

La conclusione è che, analizzando complessivamente tutti gli uragani che si presentano su una determinata area (Atlantico centro settentrionale e Pacifico centro settentrionale) ed in un determinato tempo (anno solare), in base alla loro potenza dissipata, risulta evidente, a partire dal 1975, una correlazione tra cambiamenti climatici (in particolare, aumento della temperatura degli oceani) e uragani (aumento della loro intensità).

4.4 Clima e uragani in base alle analisi delle immagini da satellite

Recentemente Webster ed altri (2005), in un articolo pubblicato su *Science* del 16 settembre 2005, hanno riesaminato tutti i cicloni tropicali (dell'Atlantico del Pacifico e dell'oceano Indiano), basando le loro indagini sulle analisi di immagini da satellite dei cicloni tropicali, da quando tali immagini sono disponibili e cioè dal 1970 in poi. Queste analisi confermano l'aumento di intensità di tutti i cicloni tropicali specificando in particolare che il numero di cicloni tropicali che, secondo la classificazione di Saffir Simpson rientrano nella categoria 4 o 5, è quasi raddoppiato in 35 anni, passando da 10 per anno a 18 per anno. Tuttavia, queste analisi non confermano che la frequenza sia rimasta più o meno invariata. I risultati, infatti, mostrano che il numero dei cicloni tropicali per anno, e la vita media di tali cicloni, dopo una fase di aumento tra il 1970 ed il 1990, sono, viceversa, in diminuzione dopo il 1990 ed in particolare dal 1995. Rispetto a questo andamento generale, gli uragani atlantici hanno un comportamento anomalo: il loro numero per anno continua a crescere.

Quanto alla correlazione fra aumento di temperatura degli oceani ed aumento della intensità dei cicloni tropicali, le analisi delle immagini da satellite sulla temperatura degli oceani in relazione alla intensità ed al numero di uragani non appare molto evidente, tranne che per l'oceano Atlantico, dove però la correlazione è particolarmente evidente solo dopo il 1995. Sugli altri oceani, infatti, la variabilità esistente, sia fra anni diversi, sia fra decenni diversi, è tale da mascherare eventuali tendenze in atto, che, pertanto, non sono distinguibili. La conclusione in base alle analisi di immagini da satellite è che, pur potendo affermare che l'intensità di tutti i cicloni tropicali è in aumento, non si può, invece, affermare con certezza che la maggiore intensità dei cicloni tropicali

derivi dal riscaldamento climatico, tranne per gli uragani dell'Atlantico e per il periodo successivo al 1995.

5. L'uragano Katrina e la vulnerabilità di New Orleans

La costa e l'entroterra costiero rappresentano per un uragano il limite di discontinuità tra una sorgente che fornisce calore ed energia (le acque marine) ed una sorgente che invece assorbe calore ed energia (il suolo continentale). Pertanto, l'impatto al suolo è maggiore sull'area costiera e minore nell'entroterra, è tanto maggiore quanto maggiore è la quantità di energia che l'uragano ha accumulato sul mare, ed, infine, dipende fortemente anche dal contesto di vulnerabilità ambientale e territoriale su cui l'uragano va ad impattare.

L'impatto dell'uragano Katrina sulle coste della Luisiana, ed in particolare sulla città di New Orleans, è diventato particolarmente catastrofico, non tanto nel giorno del passaggio dell'uragano (il 29 agosto) quanto piuttosto nei giorni successivi: vale a dire, non tanto per l'intensità dell'uragano, che, comunque, è stato il più violento che abbia mai colpito New Orleans, quanto, invece, per la particolare situazione ambientale e territoriale, in cui il fattore umano ha giocato da lungo tempo un importante ruolo per diminuire le naturali capacità di resilienza, aumentare i rischi agli eventi estremi ed, in definitiva amplificare l'entità della catastrofe. Un breve sguardo al passato può aiutare a chiarire i motivi di questa affermazione.

New Orleans era sorta sull'alveo della foce del fiume Mississippi in una zona paludosa costiera, piuttosto instabile, formata dai sedimenti trasportati dal Mississippi. Il fiume Mississippi, con un percorso di 3800 km circa, ha un bacino idrografico che comprende due regioni del Canada e 31 stati degli USA e raccoglie il 40% delle acque interne continentali. Precipitazioni intense o alluvioni in qualsiasi parte di un così vasto bacino, comportano piene del Mississippi, che prima o poi arrivano alla foce con rischi di inondazione per New Orleans.

New Orleans, fin dalle sue origini, è stata sempre soggetta a frequenti inondazioni, ma solo dopo la disastrosa inondazione del 1927 furono avviati interventi di stabilizzazione del suolo ed una ricostruzione della struttura urbana con difese più efficaci contro le piene del Mississippi. Furono in particolare costruiti argini ed opere di consolidamento e di difesa dalle inondazioni che proseguirono nel tempo, mano a mano che l'espansione urbana procedeva. Tuttavia, tali opere, canalizzando il fiume e le acque ed impedendo ai sedimenti del Mississippi di raggiungere la foce ed il mare, causarono l'innesco di un lungo processo di erosione costiera che continua tuttora ed indebolirono le difese naturali costituite da dune e da piccole isole costiere sedimentarie che funzionano come barriere frangiflutti contro le tempeste marine.

Ricerche condotte da National Geological Survey e da alcune Università americane, hanno messo in evidenza che fino al 1930 la superficie costiera della Luisiana cresceva al tasso di circa 1.5 km² per anno, a causa dell'azione di ripascimento costiero operata dai sedimenti trasportati dal Mississippi alla sua foce. Invece, dopo il 1930, proprio in seguito alle opere sopradette, di consolidamento della città di New Orleans e di canalizzazione delle acque del Mississippi, circa 4000 km² (fino al 2004) di aree costiere costituite da dune, zone umide e paludi costiere si sono erose e trasformate via via in mare aperto. Hanno contribuito a questa erosione anche alcuni fattori naturali tra cui: l'innalzamento del livello del mare e la subsidenza di gran parte della zona costiera della Luisiana.

A partire dagli anni 50 furono installati e messi in funzione anche sistemi di pompaggio e costruiti i necessari canali di drenaggio, per favorire l'evacuazione dell'acqua dalla città in caso di inondazione. Questi sistemi furono, però, dimensionati alle possibili massime inondazioni del Mississippi, ma non alle possibili massime intensità degli uragani. Il problema della prevenzione

delle possibili conseguenze in relazione al rischio uragani, si pose solo nel 1965 quando la città fu inondata in modo catastrofico, con danni ingenti (circa 1 miliardo di dollari dell'epoca) e perdite di vite umane (poco meno di un centinaio di persone), a seguito della violenza dell'uragano Betsy (categoria 3). Nella storia di New Orleans, Betsy è stato, infatti, il più forte e disastroso uragano mai avvenuto prima dell'uragano Katrina.

Furono, quindi, ipotizzati i primi interventi di salvaguardia di New Orleans e del delta del Mississippi contro gli uragani, interventi finalizzati ad evitare il ripetersi di danni simili, vale a dire il ripetersi di danni relativi ad uragani di categoria 3. Tuttavia, la realizzazione effettiva di tali interventi non ebbe luogo fino al 1990. A partire dal 1990 si procedette finalmente ad aumentare le difese di New Orleans contro gli uragani di categoria 3. Queste difese consistevano, essenzialmente, nella sopraelevazione delle preesistenti barriere e argini attorno alla città, per una ulteriore altezza compresa fra i 14 ed i 23 piedi (dai 4 ai 7 metri circa). Nel 1995, a seguito di un nuovo allagamento provocato dall'uragano Allison (di categoria 1, il sistema di pompaggio dell'acqua fu potenziato ed adeguato alle nuove esigenze di prevenzione. Fu anche migliorata ed estesa la complessa rete dei canali di drenaggio che si estende su tutta la città.

Tutti gli interventi condotti erano basati su una filosofia che è molto comune non solo a New Orleans, ma anche nelle amministrazioni locali di molti Paesi, inclusa l'Italia, e cioè quella di programmare a seguito di un certo evento catastrofico, interventi di prevenzione e protezione per evitare il ripetersi della stessa catastrofe, ormai passata, ma non per prevenire nuove catastrofi di cui c'è una probabilità non nulla e non trascurabile, che possano accadere in futuro, anche se in passato non si sono mai avvenute.

I sistemi di prevenzione e protezione esistenti a New Orleans, prima dell'arrivo dell'uragano Katrina, erano costituiti da quasi 1000 km di dighe ed argini, da 270 chiuse di regolazione dei flussi d'acqua nei canali, da 92 stazioni di pompaggio e da una rete di canali di drenaggio la cui lunghezza complessiva supera le migliaia di km. Tutti questi sistemi apparivano idonei per garantire una certa tranquillità alla città in condizioni di "normali" eventi estremi di piene del Mississippi e di uragani deboli o moderati (fino a categoria 3). I maggiori rischi collegati al riscaldamento climatico (intensificazione uragani, innalzamento del livello del mare) o collegati all'aumento della vulnerabilità del territorio a causa delle attività umane e dell'espansione della urbanizzazione, non erano stati presi in considerazione dalle autorità preposte.

6. Conclusioni: La lezione di Katrina

La città di New Orleans giace su un territorio che per l'80% circa è di 2 metri sotto il livello del mare e per di più è in fase di subsidenza. La parte urbana più critica per le inondazioni, è quella posta a "sandwich" tra le dighe sul lago Pontchartrain a nord, e le dighe sul Mississippi a sud, perché giace su una specie di sacca senza sbocchi. Eventi estremi, superiori a quelli assunti come riferimento per la protezione di New Orleans contro le inondazioni, non potevano ragionevolmente essere esclusi, visto anche il contesto dei cambiamenti climatici in corso e gli allarmi in tal senso che da molti anni provenivano da un organismo delle Nazioni Unite, come IPCC, oltre che da autorevoli istituzioni scientifiche internazionali.

La catastrofe che ha colpito la città di New Orleans, era stata già preannunciata fin dagli inizi degli anni 90, quando fu elaborato dall'Università della Louisiana e dalla "Autorità per la conservazione delle zone umide", un piano, denominato Coast 2050, per la riduzione della vulnerabilità costiera della Louisiana e per la prevenzione delle catastrofi da uragani. Il piano, approvato poi nel 1998, dalle Autorità locali, ma non dalle autorità federali, non è mai operativamente partito. Una delle ragioni era che tale piano comportava costi di circa 14 miliardi di dollari, un impegno economico

certamente elevato, ma che ora, con il senno di poi, appare di molto inferiore al probabile esborso che certamente comporteranno i danni provocati dall'uragano Katrina, senza parlare delle perdite di vite umane.

Nel frattempo, pressanti denunce per l'urgenza di ridurre la vulnerabilità di New Orleans agli uragani erano state fatte, oltre che da singoli Enti e Istituti di ricerca e Commissioni parlamentari, anche da autorevoli riviste scientifiche internazionali, tra cui "Nature" nel (settembre del 2004), e da riviste scientifiche divulgative come il "National Geographic Magazine" (ottobre 2004) e "Scientific American" (ottobre 2001). Tra l'altro, la FEMA (Federal Emergency Management Agency) già alla fine degli anni 90, aveva indicato tre grandi problemi di vulnerabilità che gli USA avrebbero dovuto affrontare quanto prima in termini di prevenzione: un attacco terroristico a New York, un uragano catastrofico a New Orleans ed un terremoto disastroso a San Francisco. Vista al giorno d'oggi, sembra quasi una premonizione,

In conclusione, da quanto complessivamente detto, vale la pena evidenziare due aspetti importanti di tutta la vicenda dell'uragano Katrina:

- vi erano appelli e denunce, da parte di autorevoli organizzazioni governative e non governative che sono stati abbondantemente rievocati *a posteriori* dai "mass media" americani nei giorni del disastro, anche se questa rievocazione è stata fatta più per motivi politici, che per trarre insegnamenti utili e creare gli idonei presupposti di un diverso modo di affrontare questi problemi;
- vi erano serie analisi e valutazioni scientifiche che erano, e sono, abbondantemente reperibili nella letteratura scientifica e che richiamano l'attenzione sui cambiamenti del clima e sui rischi aggiuntivi a cui si va incontro, anche se manca ancora la inequivocabile dimostrazione scientifica tra aumento della intensità degli eventi meteorologici estremi e i cambiamenti del clima, dimostrazione che molti richiedono, in via pregiudiziale, per avviare qualsiasi azione di prevenzione.

Su questi aspetti l'uragano Katrina ha dato una risposta che, probabilmente, già conoscevamo, vale a dire che l'incertezza delle conoscenze scientifiche non può essere utilizzata come motivo valido per posticipare un intervento quando esiste comunque il rischio di un danno, e che, se sussiste un rischio di danno, anche se non è possibile quantificarlo con esattezza, è meglio predisporre le contromisure che si ritiene possano essere le più adeguate per prevenirne i danni, piuttosto che non fare nulla.

Bibliografia di riferimento

- Carter N.T., (2005) – New Orleans levees and floodwalls: hurricane damage protection, CRS Report n. RS22238, *Bureau of Public Affairs*, US Department of State
- Bell, G.D. et al (2000) – Climate assessment for 1999, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 81, n. 6. p 1328, ACE Index p.S 20
- Bourne, J.K. jr (2004) – Gone with the water, *National Geographic Magazine*, October 2004
- Coghlan, A. and Mullins, J. (2005) – The day New Orleans' luck ran out, *New Scientist*, v. 2516, p. 512
- Fischietti, M. (2002) – Drowning New Orleans, *Scientific American Magazine*, Issue 10, October 2001
- Goldenberg, S.B., et al. (2001) – The recent increase in Atlantic hurricane activity: causes and implications, *Science*, vol 293, Issue 5529, p. 474-479

- Emanuel K.A. (1999) Thermodynamic control of hurricane intensity, *Nature*, vol. 410, p. 665-669
- Emanuel, K., (2005) – Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years, *Nature*, vol. 436, p. 686-688
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, (2001) - Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge University Press, New York
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, (2001) - Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Cambridge University Press, New York
- Landsea, C.W., et al. (1999) – Atlantic hurricanes: indices of climate changes, *Climate Change*, vol. 42, p. 89-129
- Levitan, M. (2003) – Comparative analysis of hurricane vulnerability in New Orleans and Baton Rouge. *LSH Hurricane Center*, Louisiana State University, Baton Rouge
- Louisiana CWCR and Wetland Conservation Authority (1998) – COAST 2050, *Louisiana Department of Natural Resources*, Baton Rouge, LA, web: www.lacoast.gov
- NOAA-NCDC (2005) – Climate of 2005: Atlantic hurricane season summary, *National Climatic data Center*, Bollettino NCDC del 3 settembre 2005
- NOAA-NCDC (2005) – Climate of 2005: Summary of hurricane Katrina, *National Climate Data Center*, Bollettino NCDC del 1 settembre 2005
- NOAA-CPC (2005) – The north Atlantic hurricane season, *Climate Prediction Center*, Background Information: 2nd August 2005
- NOAA-CPC (2005) – August 2005: Atlantic hurricane season outlook, *Climate Prediction Center*, Advisory and News: 2nd August 2005
- Reichhardt, T., (2004) – Hurricane Ivan highlights future risk for New Orleans, *Nature*, vol. 431, p. 388
- Reichhardt, T., et al. (2005) – After the flood, *Nature*, vol. 37, p. 174-176
- Travis J. (2005) – Scientists' fears come true as hurricane floods New Orleans, *Science*, vol. 309, issue 5741, p. 1656-1659
- US Commission on Ocean Policy (2004) – An ocean blueprint for the 21st century, US-COP, Washington D.C., chapter 10, p.121-128
- Webster, P. et al. (2005) - Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment *Science*, vol. 309, p. 1844-1846
- Wolshon B., et al. (2001) - National review of hurricane evacuation plans and policies – *LSU Hurricane Center*, Louisiana State University, Baton Rouge