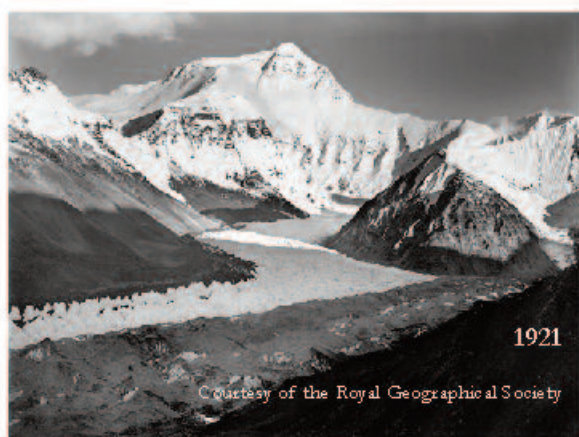


# Il destino dei ghiacciai di montagna nell'Antropocene

*Rapporto del gruppo di lavoro incaricato dalla Pontificia Accademia delle Scienze*



*Ghiacciaio principale di Rongbuk*

11 maggio 2011



*Il gruppo di lavoro, organizzato dalla Pontificia Accademia delle Scienze, ha riunito glaciologi, climatologi, meteorologi, idrologi, fisici, chimici, alpinisti ed esperti giuridici, per discutere del regresso osservato dei ghiacciai di alta montagna, delle cause e delle conseguenze. Questo rapporto è il risultato di un workshop tenutosi in Vaticano nell'aprile del 2011.*

#### In copertina:

Ghiacciaio principale di Rongbuk

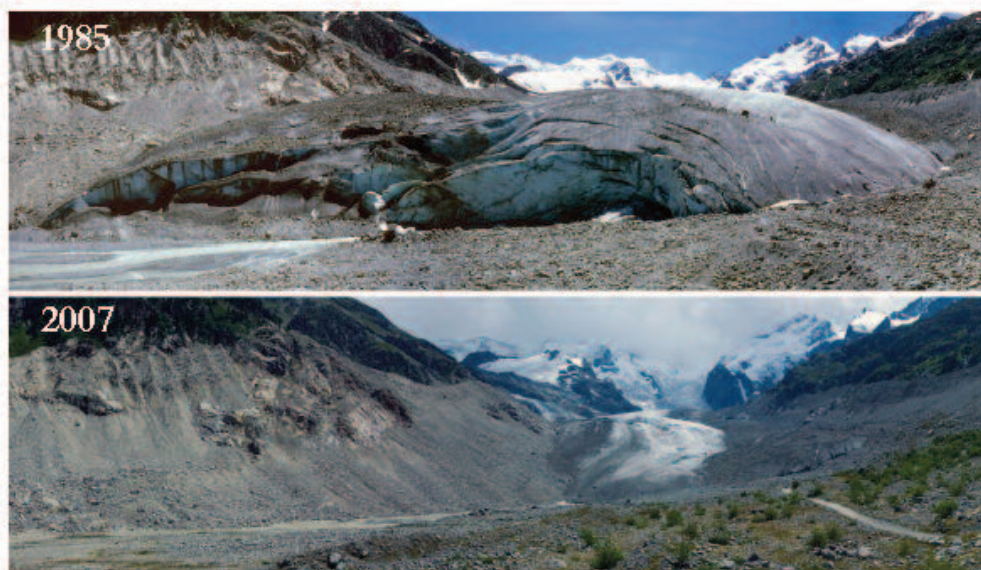
Posizione: Monte Everest, 8848 m, Regione Autonoma del Tibet

Catena: Mahalangur Himal, Himalaya Orientale

Coordinate: 27°59'15"N, 86°55'29"E

Altitudine del ghiacciaio: 5.060 - 6.462 m

Perdita media verticale del ghiacciaio: 101 m, 1921 - 2008



*Ghiacciaio di Morteratsch (Alpi). Per gentile concessione di J. Alean, SwissEduc*

## Dichiarazione del gruppo di lavoro

**N**OI INVITIAMO TUTTI I POPOLI E LE NAZIONI ad una nuova consapevolezza degli impatti, gravi e potenzialmente irreversibili, del riscaldamento globale causato dall'emissione di gas serra e di altri inquinanti da parte dell'uomo e dai cambiamenti nell'uso del territorio. Invitiamo tutte le nazioni a sviluppare e ad implementare, senza ritardi, politiche efficienti ed eque per ridurre le cause e gli impatti del cambiamento climatico sulle comunità e sugli ecosistemi, compresi i ghiacciai di montagna ed i loro bacini, consapevoli che viviamo tutti in una stessa casa. Agendo subito, nello spirito di una responsabilità comune ma diversificata, accettiamo il nostro dovere verso il prossimo e verso la custodia di un pianeta benedetto dal dono della vita.

Siamo tenuti ad assicurare che tutti gli abitanti del pianeta abbiano accesso al loro pane quotidiano, ad aria pulita da respirare ed acqua pulita da bere, essendo noi consapevoli che, se vogliamo giustizia e pace, dobbiamo proteggere l'*habitat* che ci sostiene. I credenti fra noi chiedono a Dio di esaudire questo nostro auspicio.

# I. Sintesi

Il regresso dei ghiacciai richiede interventi immediati



*Ghiacciaio di Kyetrak 1921. Posizione: Cho Oyu, 8201 m, Regione Autonoma del Tibet; Himalaya Orientale. Altitudine del ghiacciaio: 4.907 - 5.883 m. Per gentile concessione della Royal Geographical Society*



*Ghiacciaio di Kyetrak 2009; Fotografia 2009: per gentile concessione della Glacier Works*



**Antropocene:** l'uso indiscriminato dei combustibili fossili e di altre risorse naturali ha causato l'inquinamento dell'aria che respiriamo, dell'acqua che beviamo e della terra sulla quale abitiamo. Per fare un esempio, all'incirca 1000 miliardi di tonnellate di biossido di carbonio ed altri gas serra climaticamente importanti sono stati immessi nell'atmosfera dall'uomo, con il risultato che la concentrazione di biossido di carbonio in atmosfera è attualmente la più elevata rispetto degli ultimi 800.000 anni. Si ritiene che gli impatti climatici ed ecologici di questa interferenza umana sul sistema Terra si protrarranno per molti millenni, tanto da far coniare un nuovo nome, **Antropocene**, per la nuova era geologica altamente influenzata dall'attività umana nella quale viviamo.

**Regresso dei ghiacciai:** Il volume dei ghiacciai si sta riducendo su tutto il pianeta, con velocità più elevate alle quote più basse. La grande perdita di massa dei ghiacciai nelle regioni tropicali, temperate e polari è una delle evidenze più chiare di un cambiamento in atto nel sistema climatico, molto rapido ed esteso su scala globale. Lunghe serie temporali di misure indicano che la velocità di scioglimento dei ghiacciai è più che raddoppiata dall'inizio del secolo. Lo scioglimento delle nevi e dei ghiacciai montani ha poi contribuito significativamente all'innalzamento del livello del mare osservato nell'ultimo secolo. Il regresso dei ghiacciai nelle Alpi è stato osservato dalla fine della "piccola era glaciale" (prima parte del diciannovesimo secolo), ma la sua velocità è aumentata notevolmente dagli anni '80 e i ghiacciai alpini hanno già perso più del 50% della loro massa. Migliaia di piccoli ghiacciai nella regione dell'Hindukush-Himalaya-Tibet continuano a disgregarsi e costituiscono un pericolo per le comunità locali e per il numero ancora maggiore di coloro che dipendono dalle risorse idriche della montagna. Proiezioni attendibili indicano chiaramente che molte catene montuose in tutto il mondo potrebbero perdere frazioni rilevanti dei loro ghiacciai entro i prossimi decenni.

I cambiamenti recenti osservati nelle caratteristiche dei ghiacciai sono dovuti ad una complessa serie di fattori causali che includono il *forcing* dovuto ai gas serra, insieme alle emissioni su larga scala di particelle carboniose e polveri che formano le cosiddette *brown clouds*, e ai cambiamenti associati del contenuto di energia e umidità dell'atmosfera su scala regionale, che determinano un significativo riscaldamento ad altitudini elevate, non da ultimo sull'Himalaya.

**Retrospectiva sui cambiamenti passati:** in risposta all'affermazione che “avendo la Terra sperimentato nel passato un alternarsi di periodi freddi (glaciali) e caldi (inter-glaciali), gli attuali cambiamenti climatici e della copertura dei ghiacci sono eventi naturali”, affermiamo:

*Le cause principali dei periodi glaciali ed inter-glaciali sono i cambiamenti ben noti dei parametri astronomici che riguardano il movimento del nostro pianeta all'interno del sistema solare, unitamente a processi di retroazione nel sistema climatico. La scala temporale di tali fenomeni è dell'ordine di 10.000 anni o più. Al contrario, i cambiamenti indotti dall'uomo nella concentrazione di biossido di carbonio, altri gas serra e particelle carboniose, stanno avvenendo su una scala temporale di 10 - 100 anni – quindi per lo meno un centinaio di volte più velocemente. È particolarmente preoccupante che l'emissione dei suddetti agenti riscaldanti stia avvenendo durante un periodo interglaciale, quando la Terra si trova già ad un massimo naturale di temperatura.*

**Tre raccomandazioni:** i cambiamenti causati dall'uomo nella composizione dell'atmosfera e nella qualità dell'aria causano a livello globale più di due milioni di morti premature ogni anno e mettono in pericolo le risorse di acqua e cibo – specialmente fra i tre miliardi di persone troppo poveri per avvalersi della protezione offerta dalla tecnologia e dall'uso di combustibili fossili. Dato che non è possibile un futuro sostenibile basato sull'uso di carbone, petrolio e gas naturale, sia per l'esaurimento delle risorse che per i connessi danni ambientali (come quello causato, ad esempio, dall'innalzamento del livello del mare), esortiamo la società a:

- I. Ridurre senza ulteriori indugi le emissioni di biossido di carbonio, usando tutti i mezzi possibili per conseguire gli ambiziosi obiettivi internazionali sui livelli tollerabili di aumento della temperatura globale e per assicurare la stabilità del sistema climatico nel lungo periodo.** Tutte le nazioni debbono impegnarsi su una rapida transizione alle fonti di energia rinnovabili e su altre strategie per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>. Ogni nazione dovrebbe anche favorire l'assorbimento naturale del carbonio fermando la

deforestazione e riforestando i terreni degradati. Ogni nazione deve inoltre impegnarsi a sviluppare tecnologie che possano rimuovere l'eccesso di biossido di carbonio dall'atmosfera. Tutto questo deve avvenire nello spazio di pochi decenni.

**II. Ridurre per lo meno del 50% la concentrazione di inquinanti atmosferici che contribuiscono al riscaldamento globale (particelle carboniose, metano, ozono troposferico e idrofluorocarburi),** allo scopo di rallentare il riscaldamento climatico nel corso del secolo attuale, prevenendo in questo modo anche milioni di morti premature causate da malattie respiratorie e milioni di tonnellate di perdite nei raccolti ogni anno.

**III. Prepararsi ad adattarsi ai cambiamenti climatici, sia gradualmente che improvvisamente, che la società non sarà in grado di mitigare.** In particolare invochiamo una iniziativa globale di rafforzamento delle capacità di valutare gli impatti naturali e sociali dei cambiamenti climatici sui sistemi montani e sui relativi bacini.

*Il costo di questi tre interventi raccomandati è irrisorio in confronto al prezzo che il mondo dovrà pagare se non agiamo subito.*

## II. Risultati specifici e raccomandazioni

I ghiacciai sono estremamente vulnerabili al cambiamento climatico in corso



*Ghiacciaio di Qori Kalis (il più grande ghiacciaio della calotta di Quelccaya nelle Ande meridionali del Perù). Foto di Lonnie Thompson, Ohio State University*

### L'Antropocene: una nuova era geologica

Gli ultimi due secoli hanno visto una crescita della popolazione umana ed uno sfruttamento delle risorse della Terra senza precedenti. Questo sfruttamento ha causato impatti sempre più negativi su molti componenti del sistema Terra – sull'aria che respiriamo, sull'acqua che beviamo e sul suolo sul quale abitiamo. L'uomo sta cambiando il sistema climatico con l'emissione di gas serra e di particolato in grado di assorbire calore. La concentrazione attuale di biossido di carbonio, il principale gas serra, è di gran lunga superiore ai livelli osservati negli ultimi 800.000 anni. Anche trasformazioni a larga scala della superficie terrestre,



tra cui la scomparsa di foreste, praterie, zone umide ed altri ecosistemi, sono causa del cambiamento climatico. Riconoscendo che le attività umane stanno profondamente modificando i componenti del sistema Terra, il premio Nobel Paul Crutzen ha coniato il nome di **Antropocene** per la nuova era geologica che noi stessi abbiamo creato.

Un gruppo di scienziati si è riunito sotto gli auspici della Pontificia Accademia delle Scienze presso la Casina Pio IV in Vaticano dal 2 al 4 Aprile 2011 per discutere del destino dei ghiacciai di montagna nell'Antropocene e per considerare gli interventi necessari a stabilizzare il cambiamento climatico che li sta influenzando. La dichiarazione ufficiale di consenso di questo gruppo di scienziati è un avvertimento all'umanità ed una richiesta di intervento immediato – per mitigare il riscaldamento globale e regionale, per proteggere i ghiacciai ed altri ecosistemi vulnerabili, per valutare i rischi climatici globali e locali e per prepararsi e adattarsi a quegli impatti climatici che non possono essere mitigati. Il gruppo nota inoltre che un ulteriore rischio di origine antropica per il sistema climatico può derivare dal pericolo di una guerra nucleare, pericolo che può essere attenuato con una rapida e consistente riduzione degli arsenali nucleari mondiali.

## La Terra si sta riscaldando e gli impatti del cambiamento climatico stanno aumentando

Il riscaldamento della Terra è inequivocabile. La maggior parte dell'aumento osservato della temperatura media globale dalla metà del ventesimo secolo è “molto probabilmente” – il che significa con una probabilità maggiore del 90% – il risultato dell'aumento osservato nella concentrazione di gas serra di origine antropica. Il riscaldamento sta avvenendo nonostante l'effetto concomitante di raffreddamento del particolato atmosferico – in gran parte emesso dagli stessi processi responsabili dell'emissione di CO<sub>2</sub>.

Alcuni degli effetti dei cambiamenti climatici attuali e previsti per il futuro includono la perdita di barriere coralline, foreste, aree umide ed altri ecosistemi; un tasso di estinzione per diverse specie molte volte più alto della media storica; carenza di cibo ed acqua per molte popolazioni vulnerabili. L'aumento del livello del mare ed eventi meteorologici estremi mettono in pericolo ecosistemi e popolazioni, specialmente quelli delle isole e delle nazioni costiere. La perdita di ghiacciai di montagna qui discussa mette in pericolo le popolazioni a valle, specialmente durante la stagione secca quando il flusso di acqua dai ghiacciai è maggiormente necessario.

## I ghiacciai terrestri stanno regredendo: cause e conseguenze

La perdita diffusa di ghiaccio e neve sulle montagne del pianeta è una delle evidenze più chiare che abbiamo dei cambiamenti globali nel sistema climatico. Le attuali perdite di ghiacciai montani causano un innalzamento del livello del mare di più di 1 mm l'anno, circa un terzo del tasso globale di innalzamento osservato. Nella parte più recente dell'Antropocene, molta parte della riduzione in massa ed estensione dei ghiacciai in regioni tropicali, temperate e polari è il risultato dell'aumento osservato nella concentrazione dei gas serra e delle particelle in grado di assorbire la radiazione solare, come le particelle carboniose derivanti da processi di combustione inefficiente e le polveri originate dai cambiamenti nell'uso dei suoli.

Come riportato nel rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* del 2007, estrapolazioni da studi sul cambiamento di massa realizzati su circa 400 ghiacciai selezionati globalmente indicano una diminuzione di spessore medio annuo di circa 0.7 m equivalenti di acqua. La linea di equilibrio tra area di accumulo ed area di ablazione dei ghiacciai si è spostata verso l'alto di diverse centinaia di metri in molte catene montuose rispetto alla metà degli anni '70. Per molti ghiacciai nelle catene montuose meno elevate, il piano nivale alla fine dell'estate si trova ad un'altezza superiore a quella massima delle montagne, rendendo così questi ghiacciai fortemente vulnerabili al cambiamento climatico

in atto. In molte zone, inoltre, si sta verificando la frammentazione dei ghiacciai, che lascia ghiacciai di più piccole dimensioni più soggetti a sparire definitivamente.

Le osservazioni ad oggi disponibili ci dicono che l'estensione dei ghiacciai è in diminuzione a livello globale, con i tassi più elevati alle quote minori. I ghiacciai più grandi perdono le loro lingue, lasciandosi dietro morene instabili e laghi dagli argini fragili, come il Lago Imja in Nepal. Questi argini fragili sono soggetti a cedimenti improvvisi che causano allagamenti catastrofici che devastano le già fragili infrastrutture delle comunità a valle.

Nell'America Settentrionale, l'intervento umano sta aumentando l'emissione di polveri minerali dai deserti del Altopiano del Colorado e del *Great Basin*, che rendono più scura la neve accorciando quindi la stagione di innevamento delle Montagne Rocciose del Colorado di 4-7 settimane. Le polveri minerali contribuiscono anche a riscaldare l'atmosfera assorbendo la radiazione solare. Altrove, le diffuse *brown clouds* formate da particelle carboniose originate da processi di combustione inefficiente possono avere un impatto importante su regioni quali l'Himalaya. Abbiamo pochissimi studi – in alcuni casi nessuno – del bilancio di massa e di energia che quantifichino gli effetti del *black carbon* sulla neve e sui ghiacci di molte regioni montuose remote. Gli impatti che comprendiamo grazie a misure dettagliate effettuate nell'America Settentrionale forniscono comunque un quadro della risposta dei ghiacciai in altre regione similmente influenzate.

L'ammontare e la velocità della perdita di massa dei ghiacciai differiscono nelle diverse regioni del pianeta, così come gli impatti associati alla disponibilità stagionale d'acqua nelle valli e nelle pianure sottostanti. In regioni con una stagione secca ed una umida, come l'Asia centrale, le montagne, i ghiacciai e le nevi invernali sono come “serbatoi” che raccolgono acqua potabile per milioni di persone. La perdita di massa del ghiacciaio può generare un iniziale aumento del flusso a valle dovuto ad acqua immagazzinata molto tempo prima, come è stato osservato in diversi bacini, ma il flusso d'acqua inevitabilmente si riduce quando il ghiacciaio regredisce ulteriormente.

I ghiacciai montani svolgono un'altra funzione molto importante conservando informazioni dettagliate sul clima del passato e sulla capacità dei ghiacciai stessi di rispondere alle diverse variabili climatiche. Questo rende i ghiacciai preziosi strumenti per comprendere le dinamiche climatiche passate e presenti. L'elevato potenziale dei ghiacciai montani come strumenti di indagine per la ricerca climatica sta solo ora iniziando ad essere compreso. Nuove ricerche necessarie a ridurre le incertezze, a delineare i processi e a quantificare gli impatti regionali possono portare ad importanti risultati. È tempo di prestare maggiore attenzione ai ghiacciai montani prima che i loro archivi vadano persi per sempre.

## Per evitare “pericolose interferenze antropiche” sono necessari obiettivi climatici chiari e vincolanti

L'obiettivo delle politiche sul clima è quello di stabilizzare le emissioni di gas serra ad un livello che prevenga “pericolose interferenze antropiche sul sistema climatico” e “permetta agli ecosistemi di adattarsi naturalmente al cambiamento climatico, assicuri che la produzione di cibo non sia messa a rischio e permetta allo sviluppo economico di procedere in modo sostenibile”, così come espresso nell'Articolo 2 della Conferenza Quadro sul Cambiamento Climatico delle Nazioni Unite.

Il limite di temperatura attualmente proposto per evitare “pericolose interferenze antropiche” è un aumento di 2°C (rispetto ai livelli preindustriali), sebbene molti scienziati sostengano, e molte nazioni siano d'accordo, che 1.5°C sarebbe un limite superiore più sicuro. Considerazioni scientifiche, politiche ed economiche hanno contribuito all'identificazione di questa soglia, che è stata adottata nei negoziati internazionali sul clima. La Terra si è già riscaldata di 0.75°C dal 1900 e potrebbe raggiungere i 2°C entro l'anno 2100, anche se le odierne emissioni di gas serra non aumentassero ulteriormente e l'inquinamento atmosferico fosse limitato per evitare danni alla salute dell'uomo. C'è però il rischio che il riscaldamento superi abbondantemente i 3°C se le emissioni di gas serra continueranno a crescere con i tassi attuali. Quindi superare l'obiettivo dei 2°C è una possibilità seria e reale.



## Una rapida azione di mitigazione è necessaria se si vogliono limitare il riscaldamento climatico ed i relativi impatti

La comprensione delle cause dei cambiamenti climatici, così come degli impatti presenti e futuri, dà alla società l'opportunità di evitare gli impatti non gestibili attraverso le azioni di mitigazione e di gestire gli impatti inevitabili attraverso le azioni di adattamento. Questo è il momento di agire se la società vuole avere una ragionevole possibilità che la temperatura media globale rimanga al di sotto del limite di sicurezza di 2°C.

**Possibili azioni di mitigazione tramite la riduzione delle emissioni di biossido di carbonio ed aumento dell'assorbimento del carbonio:** la CO<sub>2</sub> è il principale responsabile dell'effetto serra. Mentre più della metà della CO<sub>2</sub> emessa è assorbita dagli oceani e dal suolo nello spazio di un secolo, circa il 20% rimane in atmosfera e causa riscaldamento per millenni. Debbono essere fatti tutti gli sforzi possibili per ridurre l'emissione diretta di CO<sub>2</sub> dovuta all'uso dei combustibili fossili e per ridurre l'emissione indiretta limitando la deforestazione ed espandendo le foreste in altre aree, il più velocemente possibile per evitare il riscaldamento a lungo termine provocato dalla CO<sub>2</sub> e gli impatti ad esso collegati.

**Possibile mitigazione tramite la riduzione dell'emissione di agenti climatici a vita breve diversi dalla CO<sub>2</sub>:** la seconda parte di una strategia di mitigazione integrata è la riduzione degli agenti climatici a vita breve. Questi comprendono le particelle carboniose, l'ozono troposferico ed il metano suo precursore e gli idrofluorocarburi (HFC). Le particelle carboniose (*black carbon*) e l'ozono troposferico hanno un impatto importante sul riscaldamento regionale e globale. Riducendo gli agenti climatici a vita breve usando le tecnologie esistenti si può ridurre il tasso di riscaldamento globale significativamente dalla seconda metà del presente secolo ed il tasso di riscaldamento dell'Artico di due terzi, a patto che anche la CO<sub>2</sub> sia contestualmente ridotta.

Ridurre gli inquinanti atmosferici può inoltre contribuire ad evitare la perdita di circa 2 milioni di vite ogni anno, incrementare la produzione agricola e ristabilire

bilire la capacità della vegetazione di sequestrare il carbonio. La riduzione delle particelle carboniose dovrebbe essere parte di una strategia integrata di riduzione delle emissioni di particolato, per essere certi che il riscaldamento causato dalle particelle carboniose sia limitato più velocemente del raffreddamento dovuto agli altri tipi di particolato. In molte regioni in via di sviluppo, vi è un elevato potenziale di riduzione delle particelle carboniose e del carico di polveri che accelerano lo scioglimento dei ghiacciai, tramite la riduzione delle emissioni provocate dai sistemi tradizionali di cottura del cibo, sostituendoli con fornelli energeticamente efficienti e meno inquinanti. Occorre inoltre abbattere con opportuni filtri le particelle emesse dai motori diesel e stabilizzare superfici desertiche ed altri suoli per ridurre le emissioni di polveri minerali.

Gli HFC sono gas sintetici e costituiscono le emissioni di specie climaticamente rilevanti in maggior crescita in molti paesi. La produzione e l'uso degli HFC possono essere gradualmente ridotti nell'ambito del protocollo di Montreal sulle specie che distruggono lo strato di ozono stratosferico, regolando poi le emissioni residue nell'ambito del protocollo di Kyoto. Questo darebbe luogo ad una mitigazione pari all'equivalente di 100 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub> entro il 2050. Il protocollo di Montreal è unanimemente considerato il miglior trattato ambientale al mondo; ha già eliminato il 98% delle emissioni di quasi 100 composti simili agli HFC, con un effetto di mitigazione climatica netta di 135 miliardi di tonnellate tra il 1990 ed il 2010.

In breve, l'inquinamento atmosferico ed il cambiamento climatico sono ancora trattati come se fossero due problematiche separate, quando in realtà sono due aspetti dello stesso problema. Le sorgenti di emissione degli inquinanti atmosferici e dei gas serra, infatti, coincidono e una strategia integrata di riduzione riduce i costi del contrasto ad entrambe queste minacce per la salute umana e per il benessere della società. Queste strategie di mitigazione devono essere perseguite simultaneamente e con l'intensità che le valutazioni scientifiche richiedono. Esse hanno il potenziale di "mettere in sicurezza" il sistema climatico e di ridurre "l'ingiustizia climatica". Ma il tempo per agire è poco. Il riscaldamento climatico ed i suoi effetti sul sistema Terra causati dalle emissioni di CO<sub>2</sub>, che rimane in atmosfera per millenni, possono presto diventare ingestibili.

## L'adattamento deve iniziare adesso

A causa del tempo di ritardo tra le azioni di mitigazione e la risposta del sistema climatico, le popolazioni e gli ecosistemi vulnerabili dovranno affrontare impatti climatici importanti e probabilmente rischi non accettabili anche in presenza di azioni di mitigazione efficaci. Perciò, insieme alle importanti azioni di mitigazione, anche le azioni di adattamento debbono iniziare subito ed essere perseguite con decisione.

Non possiamo ovviamente adattarci a cambiamenti che non comprendiamo. L'adattamento inizia necessariamente con una corretta valutazione degli impatti, ed un'iniziativa internazionale volta ad osservare e modellizzare i sistemi montani ed i loro bacini con un'alta risoluzione spaziale, una topografia realistica e processi appropriati per le alte quote è un prerequisito per rafforzare le capacità regionali e locali di valutare gli impatti fisici e sociali del cambiamento climatico.

## Le osservazioni sui ghiacciai necessitano di essere estese e migliorate

È necessario caratterizzare i *forcing* radiativi e climatici sui ghiacciai e le loro risposte, non ancora sufficientemente conosciute. Ad esempio, è necessario migliorare la comprensione delle differenti risposte dei ghiacciai nelle diverse regioni del pianeta in termini di cambiamenti regionali del clima e di assorbimento dei contaminanti. Anche le osservazioni del volume dei ghiacciai, delle precipitazioni e dei cambiamenti nei bacini idrografici montani sono molto scarse. Questo limita la nostra capacità di creare scenari attendibili dei flussi d'acqua dai ghiacciai per il futuro. I modelli climatici non possiedono la necessaria risoluzione nelle regioni montuose e di conseguenza hanno serie limitazioni nel simulare le precipitazioni e le variazioni di temperatura e nel riprodurre le concentrazioni di particolato atmosferico. Allo stesso modo, la modellizzazione ed il monitoraggio delle relazioni tra i cambiamenti nei bacini glaciali e le risorse idriche, alla scala spaziale del singolo bacino, sono oggi ad uno stadio iniziale.

La difficoltà e pericolosità di accesso alle quote sopra i 6000 m è una delle ragioni per cui abbiamo poche misure dettagliate, a parte lunghezza ed estensione dei ghiacciai, in sistemi montuosi come l'Himalaya e le Ande. Le attuali tecnologie di *remote sensing* possono rilevare le variazioni nell'estensione dei ghiacciai e della copertura nevosa, ma non possono quantificare i *forcing* relativi e non forniscono importanti proprietà di neve e ghiaccio, come la granulometria, la presenza di impurità, ed il contenuto di acqua liquida in superficie. Tuttavia, si stima che nuovi sistemi d'analisi multispettrale aerotrasportati e montati su satelliti permetteranno nell'immediato futuro di ottenere misure spazialmente dettagliate di queste proprietà superficiali. Con l'ausilio di misure più approfondite derivanti da campagne su larga scala, e da misure di bilancio di energia e di massa *in situ*, l'analisi multispettrale consentirà la messa a punto e la validazione di una nuova generazione di modelli di bilancio di massa dei ghiacciai con elevata risoluzione. Le osservazioni quantitative sono infatti la chiave per la comprensione di questi fenomeni.

## Geoingegneria: sono necessarie ulteriori ricerche ed una valutazione internazionale

La geoingegneria, l'applicazione cioè di tecniche artificiali di intervento umano sull'ambiente fisico, non sostituisce la mitigazione del cambiamento climatico. Vi sono ancora molte domande senza risposta circa la potenziale irreversibilità di questi interventi, e sugli impatti che possono essere molto diversi da regione a regione, prima che la geoingegneria possa essere responsabilmente considerata. Non esiste a tutt'oggi una valutazione concorde sulla geoingegneria a livello internazionale. È invece necessaria una valutazione effettuata secondo gli standard più elevati da parte dei molteplici soggetti interessati basata, per esempio, sul modello dell'IPCC. Anche le basi di questa valutazione devono però essere rese molto più solide mediante studi scientifici molto più approfonditi di quanto non sia stato finora possibile.

Sarà prudente prendere in considerazione la geoingegneria solo nel caso in cui eventuali impatti climatici catastrofici ed irreversibili non possano essere gestiti con la mitigazione e l'adattamento. Debbono inoltre essere creati gli strumenti



organizzativi per valutare rischi e benefici della geoingegneria ed un processo decisionale trasparente ed ampiamente partecipativo per decidere quali rischi sono accettabili, prima che una qualsiasi azione in questo senso possa essere intrapresa.

## I popoli e le nazioni hanno il dovere di agire immediatamente

L'umanità ha creato l'era dell'Antropocene e con essa deve ora convivere. Questo richiede però una nuova consapevolezza dei rischi che le azioni dell'uomo stanno avendo sulla Terra e sui suoi sistemi, inclusi i ghiacciai che sono qui discussi. Ciò impone a tutti il dovere di ridurre questi rischi. Il possibile fallimento delle azioni volte a mitigare il cambiamento climatico rappresenterebbe il venir meno agli obblighi che tutti noi abbiamo, particolarmente nei confronti dei popoli che sono più vulnerabili, ad esempio coloro che dipendono dall'acqua dei ghiacciai montani e coloro la cui vita è messa in pericolo dall'innalzamento del livello del mare o da eventi meteorologici estremi. Il nostro dovere include anche l'aiuto alle comunità più vulnerabili ad adattarsi ai cambiamenti che non possono essere mitigati. Tutte le nazioni devono assicurare che le loro azioni siano efficaci e tempestive per affrontare gli impatti ed i rischi crescenti del cambiamento climatico e per evitare conseguenze catastrofiche irreversibili.

Noi invitiamo tutti i popoli e le nazioni ad una nuova consapevolezza degli impatti, gravi e potenzialmente irreversibili, del riscaldamento globale causato dall'emissione di gas serra e di altri inquinanti da parte dell'uomo e dai cambiamenti nell'uso del territorio. Invitiamo tutte le nazioni a sviluppare e ad implementare, senza ritardi, politiche efficienti ed eque per ridurre le cause e gli impatti del cambiamento climatico sulle comunità e sugli ecosistemi, compresi i ghiacciai ed i loro bacini, consapevoli che viviamo tutti in una stessa casa. Agendo subito, nello spirito di una responsabilità comune ma diversificata, accettiamo il nostro dovere verso il prossimo e verso la custodia di un pianeta benedetto dal dono della vita. Siamo tenuti ad assicurare che tutti gli abitanti del pianeta abbiano accesso al loro pane quotidiano, ad aria pulita da respirare ed acqua pulita da

bere, essendo noi consapevoli che, se vogliamo giustizia e pace, dobbiamo proteggere l'*habitat* che ci sostiene.

Ajai, L. Bengtsson, D. Breashears, P.J. Crutzen, S. Fuzzi, W. Haeberli, W.W. Immerzeel, G. Kaser, C. Kennel, A. Kulkarni, J. Mittelstraß, R. Pachauri, T. H. Painter, J. Rabassa, V. Ramanathan, A. Robock, C. Rubbia, L. Russell, M. Sánchez Sorondo, H.J. Schellnhuber, S. Sorooshian, T. F. Stocker, L.G. Thompson, O.B. Toon, D. Zaelke

*I nomi sottolineati appartengono ai co-organizzatori del gruppo di lavoro*